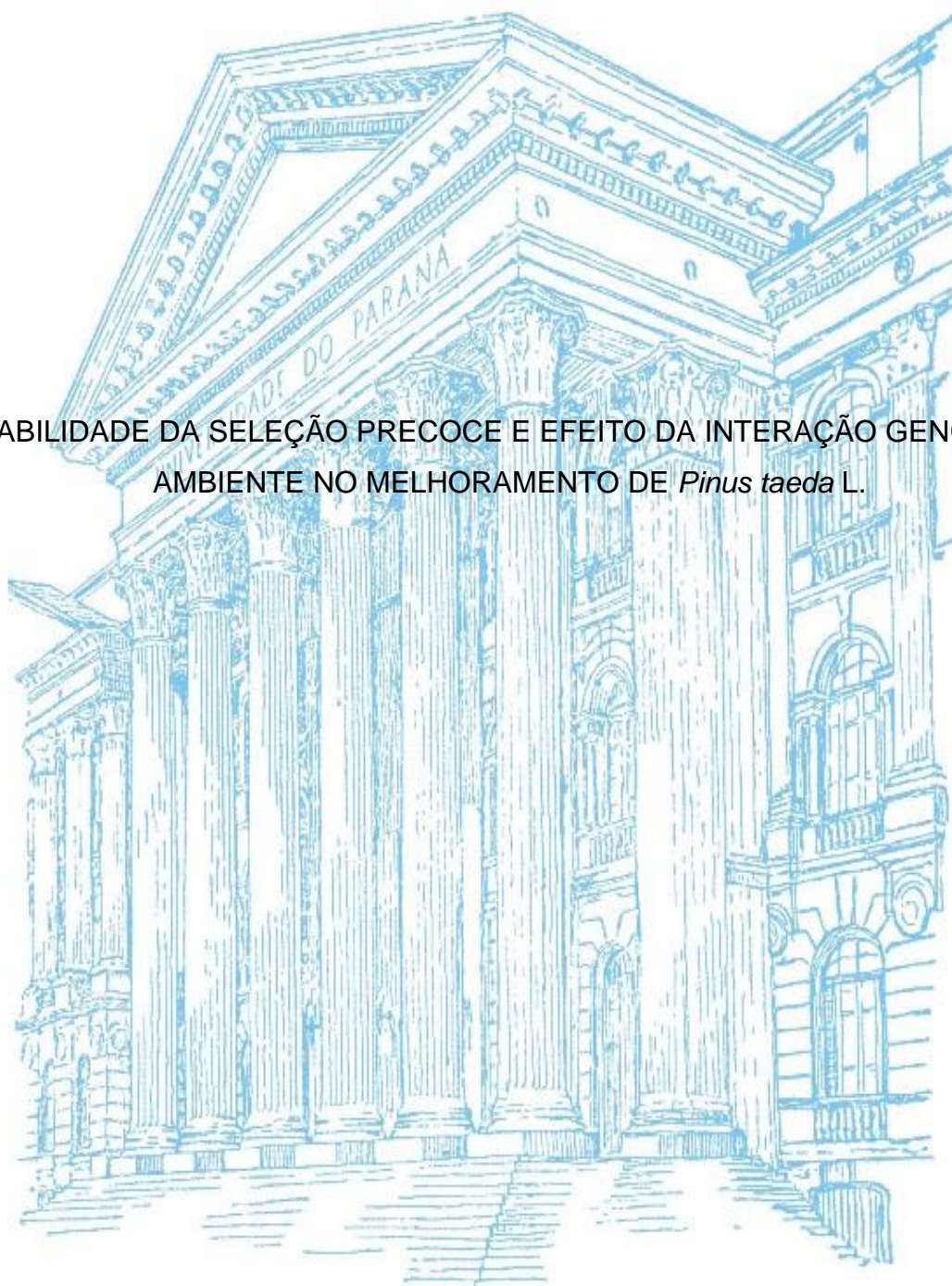


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

RODRIGO TOLEDO COUTINHO

VIABILIDADE DA SELEÇÃO PRECOCE E EFEITO DA INTERAÇÃO GENÓTIPO-
AMBIENTE NO MELHORAMENTO DE *Pinus taeda* L.



CURITIBA

2015

RODRIGO TOLEDO COUTINHO

VIABILIDADE DA SELEÇÃO PRECOCE E EFEITO DA INTERAÇÃO GENÓTIPO-
AMBIENTE NO MELHORAMENTO DE *Pinus taeda* L.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Produção Vegetal, Departamento de Fitotecnia e Fitossanitarismo, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como parte das exigências para obtenção do título de mestre em Ciências.

Orientador: Prof. Dr João Carlos Bessalho Filho

Co-orientador: Dr. Roberto Fritsche Neto

CURITIBA

2015

C871 Coutinho, Rodrigo Toledo
Viabilidade da seleção precoce e efeito da interação genótipo-ambiente no melhoramento de Pinus taeda L.. / Rodrigo Toledo Coutinho. Curitiba : 2015.
95 f. il.

Orientador: João Carlos Bessalho Filho
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná.
Setor de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Produção Vegetal.

1. Pinus taeda L. - melhoramento genético. 2. Pinus taeda L. - predição genética. I. Bessalho Filho, João Carlos. II. Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Produção Vegetal. III. Título.

CDU630*84



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
AGRONOMIA - PRODUÇÃO VEGETAL




PARECER


Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Produção Vegetal, reuniram-se para realizar a arguição da Dissertação de MESTRADO, apresentada pelo candidato **RODRIGO TOLEDO COUTINHO**, sob o título "**VIABILIDADE DA SELEÇÃO PRECOCE E EFEITO DA INTERAÇÃO GENÓTIPO AMBIENTE NO MELHORAMENTO DE *Pinus taeda* L.**", para obtenção do grau de Mestre em Ciências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Produção Vegetal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná.

Após haver analisado o referido trabalho e argüido o candidato são de parecer pela "**APROVAÇÃO**" da Dissertação.


Curitiba, 10 de Julho de 2015.



Professor Dr. Cícero Deschamps
Coordenador do Programa



Professor Dr. Roberto Fritsche Neto
Primeiro Examinador



Dr. Estefano Paludzyszyn Filho
Segundo Examinador



Professor Dr. João Carlos Bessalho Filho
Presidente da Banca e Orientador

Aos meus pais Elías e Eunice

*Por toda a dedicação, amor e
carinho.*

Ofereço

*A minha amada esposa Jacqueline Neris Barboza Coutinho
pelo exemplo de amor, dedicação e compreensão,
como companheira e como mãe.*

Dedico

AGRADECIMENTOS

À DEUS pelo dom da vida e por sua maravilhosa graça, e também por, a cada geração, revelar um pouco dos mistérios da sua criação.

À toda a minha família, em especial a minha linda esposa Jacqueline Neris Barboza Coutinho, e meus amados filhos Josué Barboza Coutinho e Joaquim Barboza Coutinho, pelo grande amor, alegria, carinho e por me trazerem força e coragem para não desistir.

Um obrigado especial à minha sobrinha especial Luiza, também conhecida como Lulu linda por sempre me animar com sua lembrança.

À Universidade Federal do Paraná (UFPR), ao curso de Pós-graduação em Agronomia- Produção Vegetal pela oportunidade de aprender um pouco mais.

Ao grande professor orientador João Carlos Bespalhok Filho por abrir as portas de ingresso como aluno de mestrado em sua “família” de alunos, e pela compreensão, paciência, ensinamentos, diretrizes da pesquisa e por respeitar esta fase da minha vida onde fiquei atribulado com a falta de tempo.

Ao professor co-orientador Roberto Fritsche Neto pelo curso ministrado de análise genética utilizando modelos mistos e por abrir as portas de seu laboratório para a co-orientação.

Ao diretor florestal Roberto Trevisan e a empresa Arauco do Brasil por permitir esta caminhada como aluno de mestrado e aprender um pouco mais, para num futuro próximo contribuir melhor com as metas genéticas da empresa.

Ao meu chefe, amigo e professor honorário Dom Claudio Balocchi que sempre me ensinou com dedicação, paciência e muito conhecimento no tema.

Aos meus amigos e companheiros de trabalho Rafael Candido Ribeiro e Luciano Fausto da Silva pela dedicação na tomada dos dados de campo, e também pelas dúvidas e conversas sempre prazerosas.

Aos meus amigos e colegas de trabalho Elias Borges dos Santos e Eldemar Jaskiu pelas ajudas no R e Excel. Ambos são verdadeiros mestres.

Ao Eldemar Jaskiu novamente e a Fabiana Morais Madruga Nabosne pela ajuda na tradução para a língua inglesa. *Thank you!!*

Ao meu amigo e colega de trabalho Herbert Hugo Niederheitmann Junior pela ajuda no mapa de caracterização do estudo.

Ao prof. Antonio Rioyei Higa pelos primeiros ensinamentos nesta apaixonante ciência do melhoramento genético.

Ao engenheiro Marcos Venícios de Souza pela orientação no início da minha caminhada profissional como engenheiro florestal.

Ao pesquisador da Embrapa Florestas Itamar Antonio Bognola pela ajuda e apoio neste trabalho.

Ao professor Ricardo Augusto de Oliveira e ao pesquisador da Embrapa Florestas Estefano Paludzyszyn Filho pela contribuição na melhoria deste trabalho.

A todos os professores do programa que me ajudaram a aprender a verdadeira ciência de melhoramento, estatística, fisiologia e cultura de tecidos.

A Lucimara Antunes secretária do curso de Pós-graduação em Agronomia Produção Vegetal por sempre estar pronta a ajudar.

E a todos que de alguma forma com o seu jeito contribuíram para a realização deste trabalho. Muito obrigado por tudo, serei eternamente grato a cada um.

*" Os únicos limites das nossas realizações de amanhã
são as nossas dúvidas e hesitações de hoje."*

Franklin Roosevelt

RESUMO

O plantio de pinus no Brasil em 2014 foi de aproximadamente 1,6 milhões de hectares dos quais 1,2 milhões de hectares, 76%, estão localizados nos estados do Paraná e de Santa Catarina, e grande parte dessas áreas tem sido utilizada pelo Setor de Painéis de Madeira Industrializada, que cresceu em média 8,3% a.a. nos últimos anos. Este aumento expressivo na produção de painéis está tornando o melhoramento genético do *Pinus taeda* L., principal espécie utilizada, a prioridade de pesquisa para todas as empresas de base florestal. Diante do exposto, os objetivos deste trabalho foram analisar a viabilidade do uso da seleção precoce e o efeito da interação genótipo-ambiente. Foram estimados os parâmetros genéticos, a interação genótipo-ambiente e predito os ganhos genéticos para o caráter diâmetro do fuste a 1,30m de altura em progênies de meios-irmãos de *Pinus taeda* L., nas idades de oito e quinze anos, em ensaios localizados nos municípios de Campo do Tenente, Sengés e Jaguariaíva, estado do Paraná, Brasil. Foram observadas correlações significativas para o ordenamento das progênies e para correlação linear dos valores genéticos aditivos preditos entre a idade de oito e quinze anos. As herdabilidades obtidas neste estudo foram maiores em Campo do Tenente, onde observou-se maior crescimento, coincidindo também com o local de seleção das matrizes das progênies de meios-irmãos avaliadas neste trabalho. Para o ensaio no município de Campo do Tenente a seleção com oito anos apresentou o mesmo ganho genético predito em relação a idade de quinze anos, tanto para a seleção dos genitores como seleção dos melhores indivíduos. Para o ensaio Morungava, localizado no município de Sengés, com as condições edafo-climáticas similares a Campo do Tenente, porém mais distante do local de seleção das matrizes, só foi possível o sucesso na seleção precoce dos melhores indivíduos, visto que os genitores selecionados na seleção aos oito anos não apresentaram diferença estatística significativa da testemunha. Para a seleção dos melhores indivíduos de forma precoce aos oito anos recomenda-se utilizar a restrição de número máximo de indivíduos por genitor por apresentar mesmo ganho de seleção na idade de quinze anos, porém com maior variabilidade genética. Para o ensaio Mocambo, também no município de Sengés, porém com condições edafo-climáticas muito distintas, não foi possível observar diferenças estatísticas tanto na seleção dos

genitores como na seleção dos melhores indivíduos. Na idade de quinze anos as progênies apresentaram interação genótipo-ambiente não permitindo predizer os valores genéticos aditivos para todos os locais em um único modelo, mesmo nos locais com alta correlação genotípica. Os ensaios de Campo do Tenente e Morungava, implantados nas condições edafo-climáticas similares ao local onde foram selecionadas as matrizes, não apresentaram interação genótipo-ambiente na idade de oito anos podendo levar o melhorista conduzir de forma equivocada o programa de melhoramento em apenas um destes locais. Os locais com condições edafo-climáticas distintas do local onde foram selecionadas as matrizes não são recomendados para o plantio desta população avaliada, sendo necessária incorporação e avaliação de novas germoplasmas para estes ambientes.

Palavras-chave: Modelos Mistos; Predição Genética; Melhoramento; Progênies.

ABSTRACT

The pine plantations in Brazil in 2014 was of approximately 1.6 million hectares, of which 1.2 million (76%) were located in the states of Paraná and Santa Catarina, and many of these areas has been used by sector industrialized wood panels, which grew on average 8.3% p.y.in the last years. This expressive growth in the wood panels production is influencing the genetic improvement of *Pinus taeda* L., the main utilized species, to become the priority research for all the private companies in the forestry sector. The aims of this study are to estimate the variability, the genetic parameters, the genotype-environment interaction, and the predicted genetic gain between and within the *Pinus taeda* L. half-sib family, at ages of eight and fifteen years, established in different locations in the state of Paraná, Brazil. Were significant correlations observed for the ranking of progenies and for the linear correlation of predicted additive genetic values between the ages of eight and fifteen years. The heritability obtained in this study was bigger in Campo do Tenente, where a bigger growth was also observed, coinciding with the local where the evaluated half-sib family' seed trees were selected. For the Campo do Tenente experiment, the eight years old measures showed the same predicted genetic gain in comparison with the fifteen years old measures, for the selection of either the parents or the best individual. For the Morungava experiment, located in the municipality of Senges, with the soil and climate conditions similar of those in Campo do Tenente, but further away from the seed trees selection location, it was only possible select the best individuals at the eight years old age, whereas the parents' selection did not show any statistical difference from the control. For best individual's selection at eight years old age, it is recommended to utilize the maximum number of individuals per parent restriction, since it shows the same statistical result of the fifteen years old selection, but with greater genetic variability. For the Mocambo's experiment, also in the Senges municipality, but with soil and climate conditions very distinct of those from the previous mentioned experiments, it was not possible to detect statistical differences for neither the parents' nor the best individual's selection. At age fifteen years old age the progenies showed up a genotype-environment interaction therefore not allowing to predict the genetic gain for all the locations in a single model, even in the very high genotypic correlation locations. The Campo do Tenente

and Morungava experiments, deployed under the same soil and climate conditions of the parents selection location, did not displayed a genotype-environment interaction at eight years old age, possibly misleading the decision making of conducting the improvement program at only one of these locations. The locations with soil and climate conditions different from where the parents were selected are not recommended for the evaluated population's, being necessary the incorporation and evaluation of new germplasm for such environments.

Keywords: Mixed Models, Genetic Prediction, Improvement, Progenies.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 3.1: Mapa de localização dos ensaios implantados em Campo do Tenente, Morungava e Mocambo, com o local da procedência das matrizes no município de Três Barras, localização da seleção fenotípica das matrizes que geraram as progênes meios-irmãos em Campo do Tenente, e localização das testemunhas utilizadas..... 35

FIGURA 3.2: Valores genéticos aditivos das progênes e testemunhas para todos os locais nas idades de 8 e 15 anos com o intervalo de confiança a 5%, onde o local Campo do Tenente foi o local de seleção das matrizes e está localizado na mesma fitogeografia de Morungava. O tracejado representa o limite superior da melhor testemunha de polinização aberta em cada local. 53

CONTINUAÇÃO FIGURA 3.2: Valores genéticos aditivos das progênes e testemunhas para todos os locais nas idades de 8 e 15 anos com o intervalo de confiança a 5%, onde o local Campo do Tenente foi o local de seleção das matrizes e está localizado na mesma fitogeografia de Morungava. O tracejado representa o limite superior da melhor testemunha de polinização aberta em cada local. 53

FIGURA 3.3: Regressões lineares e estatísticas relacionadas, bem como as correlações de *Pearson* dos valores genéticos aditivos em Campo do Tenente, Morungava e Mocambo entre as idades de 8 e 15 anos para cada local. 54

FIGURA 3.4: Valores do ganho genético dos genitores em DAP (cm) aos 15 anos com a seleção na idade de rotação (seleção tardia) e com a seleção na idade de 8 anos (seleção precoce), para os três locais, com a seleção dos genitores testados e aprovados estatisticamente, com n máximo igual a 10. O n' representa a quantidade de genitores utilizados para a média quando nenhum genitor foi aprovado estatisticamente. O tracejado representa o limite superior da melhor testemunha de polinização aberta em cada local..... 55

FIGURA 3.5: Valores do ganho genético dos genitores em DAP (cm) aos 15 anos com a seleção na idade de rotação (seleção tardia) e com a seleção na idade de 8 anos (seleção precoce), para os três locais, com a seleção dos melhores indivíduos com e sem restrição de número de indivíduos por família. Estão apresentados também os valores referentes ao tamanho efetivo populacional (N_e) com número de famílias (N_f) e a variância do número de indivíduos por família (k_{fv}). O tracejado representa o limite superior da melhor testemunha de polinização aberta em cada local. 56

FIGURA 4.1: mapa de localização dos ensaios implantados em Campo do Tenente, Morungava, Mocambo e Jaguariaíva, com o local da procedência das matrizes no

município de Três Barras, localização da seleção fenotípica das matrizes que geraram as progênies meios-irmãos em Campo do Tenente, e localização das testemunhas utilizadas. 66

FIGURA 4.2: Gráficos da variância residual, herdabilidade, média DAP (cm) e o fator de transformação aplicado para cada conjunto de dados na idade de 8 anos, nas análises de vários locais realizadas dois a dois. 73

FIGURA 4.3: Gráficos comparando as médias DAP (cm) e a distribuição dos quartis teóricos e quartis da amostra com os dados originais e os dados transformados na idade de 8 anos, nas análises de vários locais realizadas dois a dois. 75

FIGURA 4.4: Gráficos da variância residual, herdabilidade, média DAP (cm) e o fator de transformação aplicado para cada conjunto de dados na idade de 15 anos, nas análises de vários locais realizadas dois a dois de todos os locais. 76

FIGURA 4.5: Gráficos comparando as médias DAP (cm) e a distribuição dos quartis teóricos e quartis da amostra com os dados originais e os dados transformados na idade de 15 anos, nas análises de vários locais realizadas dois a dois. 77

FIGURA 4.6: Regressões lineares com as correlações de *Pearson* dos valores genéticos aditivos em Campo do Tenente, Morungava e Mocambo comparados com Jaguariaíva nas idades de 8 anos realizados pareados dois a dois com Jaguariaíva. 85

FIGURA 4.7: Regressões lineares com as correlações de *Pearson* dos valores genéticos aditivos em Campo do Tenente, Morungava e Mocambo nas idades de 8 anos realizados pareados dois a dois. 85

FIGURA 4.8: Regressões lineares com as correlações de *Pearson* dos valores genéticos aditivos em Campo do Tenente, Morungava e Mocambo nas idades de 15 anos realizados pareados dois a dois. 86

LISTA DE QUADROS

QUADRO 3.1- Localização dos testes de progênies de meios-irmãos de *Pinus taeda* L., bem como as condições edafo-climáticas dos locais. Fonte: do autor 37

QUADRO 4.1: Localização dos testes de progênies de meios-irmãos de *Pinus taeda* L., bem como as condições edafo-climáticas dos locais..... 69

LISTA DE TABELAS

TABELA 3.1: ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS E CORRELAÇÕES FENOTÍPICAS PARA AS VARIÁVEIS DENTRO DE CADA LOCAL..... 44

TABELA 3.2: ANÁLISE DE DEVIANCE COM OS COMPONENTES DA VARIÂNCIA, COMPONENTES DE DETERMINAÇÃO E O TESTE DA RAZÃO DE VEROSSIMILHANÇA DE CADA EFEITO, DAS ANÁLISES SEPARADAS PARA CADA LOCAL, PARA VARIÁVEL DIÂMETRO A ALTURA DO PEITO (DAP CM). . 45

TABELA 3.3: ANÁLISE DE MÁXIMA VEROSSIMILHANÇA RESTRITA COM OS COMPONENTES DA VARIÂNCIA, COMPONENTES DE DETERMINAÇÃO, ACURÁCIA E COEFICIENTES DE VARIAÇÃO, DAS ANÁLISES SEPARADAS PARA CADA LOCAL, PARA VARIÁVEL DIÂMETRO A ALTURA DO PEITO (DAP CM). 47

TABELA 3.4: VALORES GENÉTICOS ADITIVOS DAS PROGÊNIES NAS IDADES DE 8 E 15 ANOS E AS RESPECTIVAS CORRELAÇÕES DE *SPEARMAN* PARA CADA LOCAL. ESTÃO APRESENTADOS TAMBÉM AS PROGÊNIES QUE APRESENTARAM VALORES GENÉTICO ADITIVO ESTATISTICAMENTE SUPERIOR AO VALOR DA MELHOR TESTEMUNHA DE POLINIZAÇÃO ABERTA (TRATAMENTOS 71 A 73). OS VALORES GENÉTICOS ADITIVOS REFORÇADOS EM CINZA REPRESENTAM OS 10 MAIORES VALORES PARA CADA IDADE E LOCAL. 48

TABELA 3.4: VALORES GENÉTICOS ADITIVOS DAS PROGÊNIES NAS IDADES DE 8 E 15 ANOS E AS RESPECTIVAS CORRELAÇÕES DE *SPEARMAN* PARA CADA LOCAL. ESTÃO APRESENTADOS TAMBÉM AS PROGÊNIES QUE APRESENTARAM VALORES GENÉTICO ADITIVO ESTATISTICAMENTE SUPERIOR AO VALOR DA MELHOR TESTEMUNHA DE POLINIZAÇÃO ABERTA (TRATAMENTOS 71 A 73). OS VALORES GENÉTICOS ADITIVOS REFORÇADOS EM CINZA REPRESENTAM OS 10 MAIORES VALORES PARA CADA IDADE E LOCAL. 49

TABELA 3.4: VALORES GENÉTICOS ADITIVOS DAS PROGÊNIES NAS IDADES DE 8 E 15 ANOS E AS RESPECTIVAS CORRELAÇÕES DE *SPEARMAN* PARA CADA LOCAL. ESTÃO APRESENTADOS TAMBÉM AS PROGÊNIES QUE APRESENTARAM VALORES GENÉTICO ADITIVO ESTATISTICAMENTE SUPERIOR AO VALOR DA MELHOR TESTEMUNHA DE POLINIZAÇÃO ABERTA (TRATAMENTOS 71 A 73). OS VALORES GENÉTICOS ADITIVOS REFORÇADOS EM CINZA REPRESENTAM OS 10 MAIORES VALORES PARA CADA IDADE E LOCAL. 50

TABELA 4.1: ESTATÍSTICAS BÁSICAS E CORRELAÇÕES FENOTÍPICAS PARA AS VARIÁVEIS DENTRO DE CADA LOCAL.....	72
--	----

TABELA 4.2: ANÁLISE DE DEVIANCE COM OS COMPONENTES DA VARIÂNCIA, COMPONENTES DE DETERMINAÇÃO E O TESTE DA RAZÃO DE VEROSSIMILHANÇA DE CADA EFEITO, DA ANÁLISE SEPARADA PARA JAGUARIAÍVA E PARA OS PAREAMENTOS DOS LOCAIS DOIS A DOIS, PARA VARIÁVEL DIÂMETRO A ALTURA DO PEITO (DAP CM).....	79
--	----

TABELA 4.2: ANÁLISE DE DEVIANCE COM OS COMPONENTES DA VARIÂNCIA, COMPONENTES DE DETERMINAÇÃO E O TESTE DA RAZÃO DE VEROSSIMILHANÇA DE CADA EFEITO, DA ANÁLISE SEPARADA PARA JAGUARIAÍVA E PARA OS PAREAMENTOS DOS LOCAIS DOIS A DOIS, PARA VARIÁVEL DIÂMETRO A ALTURA DO PEITO (DAP CM).....	80
--	----

TABELA 4.3: RESULTADOS DA ANÁLISE DE MÁXIMA VEROSSIMILHANÇA RESTRITA COM OS COMPONENTES DA VARIÂNCIA, COMPONENTES DE DETERMINAÇÃO E COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO, DA ANÁLISE SEPARADA DE JAGUARIAÍVA E DAS ANÁLISES CONJUNTAS DOIS A DOIS, PARA VARIÁVEL DIÂMETRO A ALTURA DO PEITO (DAP CM).	82
--	----

TABELA 4.4: RESULTADOS DA ANÁLISE DA CORRELAÇÃO DO ORDENAMENTO E DOS VALORES GENÉTICOS ADITIVOS DOS ENSAIOS DE CAMPO DO TENENTE E MORUNGAVA QUE APRESENTARAM NA IDADE DE 8 ANOS O COEFICIENTE DE INTERAÇÃO SIGNIFICATIVO.	83
--	----

TABELA 4.4: RESULTADOS DA ANÁLISE DA CORRELAÇÃO DO ORDENAMENTO E DOS VALORES GENÉTICOS ADITIVOS DOS ENSAIOS DE CAMPO DO TENENTE E MORUNGAVA QUE APRESENTARAM NA IDADE DE 8 ANOS O COEFICIENTE DE INTERAÇÃO SIGNIFICATIVO.	84
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Acprog - Acurácia da seleção de progênes, assumindo sobrevivência completa.

BLUP- Melhor predição linear não viciada.

c2parc - Coeficiente de determinação dos efeitos de parcela.

cm - Centímetros.

CVe% - Coeficiente de variação residual.

CVgi% - Coeficiente de variação genética aditiva individual.

CVgp% - Coeficiente de variação genotípica entre progênes.

CVR - Coeficiente de variação relativa.

DAP - Diâmetro a altura do peito (1,30 metros).

h2a - Herdabilidade individual no sentido restrito, ou seja, dos efeitos aditivos.

h2ad - Herdabilidade aditiva dentro de parcela.

h2aj - Herdabilidade individual no sentido restrito, ajustada para os efeitos de parcela.

h2mp - Herdabilidade da média de progênes, assumindo sobrevivência completa.

IF - Índice de falhas.

KM - Quilometro.

LRT - Teste da razão de verossimilhança (LRT).

m - metros

$m^3/ha.ano^{-1}$ – metro cubico/hectare/ano

m^3ssc – Metro cubico sem casca.

MDF - Medium Density Fiberboard.

MDP- Medium Density Particleboard.

Média Cov - Média da covariável.

mm – milímetros.

° C – Graus Celsius.

OSB - Oriented Strand Board.

PEV - Variância do erro de predição dos valores genotípicos de progênie.

REML - Máxima verossimilhança restrita.

SEP - Desvio padrão do valor genotípico predito de progênie.

Va - Variância genética aditiva.

Ve - Variância residual (ambiental + não aditiva).

Vf - Variância fenotípica individual.

Vparc - Variância ambiental entre parcelas.

SUMARIO

1	INTRODUÇÃO GERAL.....	20
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	22
2.1	MELHORAMENTO DE <i>Pinus taeda</i> L.....	22
2.2	SELEÇÃO PRECOCE DE <i>Pinus taeda</i> L.....	23
2.3	INTERAÇÃO GENÓTIPO-AMBIENTE DE <i>Pinus taeda</i> L.	25
2.4	ESTIMAÇÃO DOS PARÂMETROS NO MELHORAMENTO GENÉTICO	26
3	VIABILIDADE DA SELEÇÃO PRECOCE DE <i>Pinus taeda</i> L. EM DIÂMETRO A ALTURA DO PEITO EM PROGRAMA DE MELHORAMENTO GENÉTICO.....	31
3.1	INTRODUÇÃO	33
3.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	35
3.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	43
3.4	CONCLUSÕES	57
	REFERÊNCIAS	58
4	EFEITO DA INTERAÇÃO GENÓTIPO-AMBIENTE NO MELHORAMENTO DE <i>Pinus taeda</i> L. 62	
4.1	INTRODUÇÃO	64
4.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	65
4.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	71
4.4	CONCLUSÕES	87
	REFERÊNCIAS	88
5	CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	90
	REFERÊNCIAS	91

1 INTRODUÇÃO GERAL

O plantio de pinus no Brasil engloba aproximadamente 1,6 milhões de hectares dos quais aproximadamente 1,2 milhões de hectares, 76%, estão localizados nos estados do Paraná e de Santa Catarina, tendo o Paraná aproximadamente 662 mil hectares, 42%, e Santa Catarina 540 mil hectares, 34% (IBÁ, 2015).

Toda esta produção florestal destes dois estados tem sido utilizada basicamente por três setores industriais: (i) Celulose e Papel, (ii) Painéis de Madeira Industrializada e (iii) Madeira Mecanicamente Processada.

O setor de Painéis de Madeira Industrializada é formado pelas indústrias produtoras de painéis de MDP (*Medium Density Particleboard*), MDF (*Medium Density Fiberboard*), OSB (*Oriented Strand Board*) e outras chapas de fibra. As indústrias desse segmento são importantes fornecedoras de matéria-prima para as indústrias de móveis, construção civil, embalagens, automobilística e eletro-eletrônica. Nos últimos 12 anos (2000 - 2011), a produção anual de painéis de madeira industrializada cresceu de 2,7 milhões de toneladas para 6,5 milhões, ou seja, um crescimento médio de 8,3% a.a. Da mesma forma, o consumo anual de painéis de madeira também cresceu de 2,6 milhões de toneladas, para 6,5 milhões, um incremento médio de 8,7% a.a. (ABRAF, 2012).

Com este aumento expressivo na produção de painéis ao longo destes últimos anos temos a necessidade cada vez maior de aumentar também a produção florestal na mesma proporção para possibilitar o abastecimento das indústrias. Desta forma o melhoramento genético do *Pinus taeda* L., principal espécie utilizada, tem sido prioridade para as empresas de base florestal. O melhoramento genético tem sido de grande importância para aumentar a produtividade florestal e, principalmente devido às dificuldades das empresas de base florestal dos estados do Paraná e Santa Catarina para comprar novas áreas de terras, pois estes estados se caracterizam, por sua maioria, de minifúndios e terras com elevado preço.

O melhoramento genético é a aplicação de técnicas de seleção e recombinação, com vistas ao aumento da frequência dos alelos favoráveis das características de interesse, em uma dada população (PIRES *et al.*, 2011). No melhoramento genético de pinus no sul do Brasil, de maneira geral, têm sido

utilizadas medições volumétricas das árvores e progênies, para o ordenamento destes materiais genéticos. Porém é de grande importância a seleção genética seja a mais rápida possível dos melhores genótipos, pois o ciclo da cultura é de no mínimo acima de dez anos. Este grande período de espera pode acarretar em prejuízos ao setor florestal com o plantio de genótipos inferiores enquanto se espera que os ensaios genéticos estejam na idade de quinze anos. Desta forma, a seleção precoce ganha destaque em todos os programas de melhoramento desta espécie no Brasil e no mundo.

A alteração no desempenho relativo dos genótipos, em virtude de diferenças de ambiente, denomina-se interação genótipo-ambiente. Essa interação é um importante e desafiante fenômeno para melhoristas. Quanto maior a diversidade genética entre os genótipos e entre os ambientes, de maior importância será a interação genótipo-ambiente (BOREM, 1997). Desta forma, investigar esta interação e seus efeitos nas características de interesse é de extrema importância, pois todo e qualquer programa de melhoramento genético enfrenta o desafio de recomendar genótipos superiores para plantações em escala comercial que abrangem vários locais distintos.

Conforme necessidade e contexto exposto acima, os objetivos principais deste trabalho foram: (i) prever os ganhos genéticos dos genitores e melhores indivíduos de progênies de meios-irmãos de *Pinus taeda* L., para a variável Diâmetro a Altura do Peito (DAP), na idade de oito anos (seleção precoce) comparando com a seleção aos quinze anos (seleção tardia), visando definir qual a melhor estratégia; e (ii) verificar a existência de interação genótipo-ambiente para as progênies estudadas, e, se houver, analisar suas implicações na estratégia de melhoramento genético.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 MELHORAMENTO DE *Pinus taeda* L.

Melhoramento é a aplicação dos conhecimentos da genética no desenvolvimento de árvores melhoradas por meio de seleção artificial de indivíduos superiores para o caráter de interesse, podendo abranger desde a colheita de sementes das melhores matrizes em seleção massal fenotípica, passando para programas de múltiplas fases e gerações derivados de polinização aberta e/ou controlada dos melhores genótipos, provados em ensaios genéticos em campo (EMBRAPA/IBDF; 1980).

O Brasil possui 1,6 milhões de hectares plantados com espécies do gênero pinus com consumo anual de madeira de aproximadamente 40 milhões de metros cúbicos. Estas florestas apresentam produtividade média de $31,3 \text{ m}^3/\text{ha.ano}^{-1}$, sendo a maior produtividade do mundo. A distribuição do plantio de florestas do gênero pinus no Brasil divide-se em duas principais grandes zonas: as regiões com presença de frio com alta intensidade, muitas vezes com geadas severas, e as demais regiões de clima tropical. Na zona com geadas temos aproximadamente 76%, do total de 1,6 milhões de hectares, localizados nos estados do Paraná e Santa Catarina, onde a espécie do gênero pinus mais plantada é o *Pinus taeda* L., pois apresenta resistência ao frio intenso e maior produtividade em relação a qualquer outra espécie do gênero pinus (IBÁ, 2015).

Programas de melhoramento genéticos de *Pinus taeda* L. nos Estados Unidos conduziram a ganhos genéticos operacionais da ordem de 7 a 12 %, em relação ao material selvagem, com as sementes oriundas dos primeiros pomares clonais de primeira geração (LI *et al.*, 1999). No Brasil, o melhoramento do gênero pinus foi implementado por empresas florestais, principalmente indústrias de celulose e papel, instituições públicas e privadas de ensino e pesquisa, onde foram obtidos ganhos genéticos operacionais relevantes, porém pouco reportados. No Brasil a estratégia inicial adotada foi a seleção recorrente intrapopulacional, onde foram estabelecidas as populações bases (ou experimentais) de várias espécies de pinus, e, a partir desta base genética, foram selecionadas as matrizes para a obtenção de material genético melhorado. Nos estados do Paraná e Santa Catarina muitas

procedências foram avaliadas por estas empresas e instituições, sendo as mais utilizadas a procedências do estado da Carolina do Sul, com as florestas mais produtivas, e a procedência do estado de Carolina do Norte, com maior resistência ao frio de forte intensidade do planalto catarinense (AGUIAR *et al.*, 2011).

2.2 SELEÇÃO PRECOCE DE *Pinus taeda* L.

A seleção é definida como a reprodução diferencial dos diferentes genótipos na natureza, também conhecida como seleção natural ou sob a intervenção do homem, baseada em critérios definidos pelo próprio melhorista, conhecida como seleção artificial. A seleção atua promovendo a alteração das frequências alélicas nos locos que controlam o caráter sob seleção, conduzindo a uma alteração na média genotípica da população, na direção desejada. O melhorista atua na predição do valor genético dos indivíduos e decidir sobre a melhor forma de utilização dos indivíduos com os maiores valores genéticos preditos, seja para o uso em plantios comerciais ou para realização de novos cruzamentos (RESENDE, 2002; PIRES *et al.*, 2011).

A seleção precoce é uma forma indireta de seleção, em que caracteres avaliados em idades prévias à de rotação, são utilizados como preditores de caracteres economicamente importantes na idade de rotação. Devido ao ciclo longo das espécies florestais, a demora na etapa de avaliação é um dos entraves à recomendação dos genótipos superiores. Deste modo, a seleção precoce pode diminuir o tempo requerido para avaliação e seleção, maximizando os ganhos genéticos por unidade de tempo (RESENDE, 1995). Segundo Lambeth (1980)¹, citado por Pires (2011), as vantagens da seleção precoce são permitir alcançar mais rapidamente o ganho genético e proporcionar ao melhorista a adaptação mais rápida às necessidades de produção ou de novas práticas culturais.

A seleção dos genótipos superiores de *Pinus taeda* L. por meio de ensaios genéticos de campo requerem vários anos de duração, devido à idade de rotação dos plantios comerciais serem de aproximadamente quinze anos. Com isto vários pesquisadores investiram esforços em avaliar a seleção em idades precoces

¹ LAMBETH, C. C. Juvenile-mature correlations in Pinaceae and implications for early selection. **Forest Science**. 26 (4): pp 571-580. 1980

anteriores à idade final de rotação, como Paludzyszyn Filho *et al.* (2002) que analisaram a seleção genética de *Pinus taeda* L. no estado do Paraná.

Este último autor concluiu que os ganhos genéticos aditivos preditos foram similares para as duas idades estudadas, revelando alto potencial para a seleção precoce, e o mais importante é que aguardar a idade tardia de seleção não supera o benefício de se obter oferta antecipada de sementes com a seleção precoce.

Ferreira (2005) analisou a seleção precoce de *Pinus taeda* L. com progênies de polinização controlada em ensaios implantados nos municípios de Três Barras, Mafra, São João do Triunfo e Canoinhas, todos no estado de Santa Catarina próximos à divisa com o estado do Paraná, e concluiu que a seleção precoce de genitores pode ser realizada aos três ou quatro anos, contudo as seleções de genitores para a formação de pomares, ou para desbastes genéticos do pomar são mais recomendadas aos oito anos de idade, ou seja, aproximadamente metade da rotação comercial.

Outros pesquisadores também comprovaram a eficiência da seleção precoce em relação a seleção tardia para os parâmetros genéticos de diâmetro a altura do peito, altura e densidade da madeira, como Gwaze *et al.* (2001) que analisaram quatro ensaios genéticos de *Pinus taeda* L. localizados no estado de Arkansas, avaliados nas idades de 5, 10, 15, 20 e 25 anos. Os pesquisadores concluíram que a seleção nas idades jovens foi eficiente e a correlação genética entre as idades para o diâmetro a altura do peito foi maior que 0,89 entre as idades de 10 a 20 anos, permitindo recomendações genéticas, com excelente acurácia, com uma década de antecedência.

Lambeth *et al.* (1983), Foster (1986) e Mckeand (1988) também analisaram a seleção precoce visando recomendar genótipos superiores antes da idade de rotação. Foster (1986) analisou onze ensaios genéticos de *Pinus taeda* L. e para a variável volume concluiu que a seleção precoce obteve eficiência superior a 85% na idade de cinco anos em relação a quinze anos. Concluíram também que a herdabilidade para o volume total permaneceu estável entre as idades analisadas. Mckeand (1988) analisou dezoito ensaios genéticos de *Pinus taeda* L. da cooperativa de melhoramento da Universidade da Carolina do Norte, concluindo que a melhor idade precoce para maximizar o ganho genético foi entre as idades de seis a oito anos para uma rotação final de dezesseis anos, ou seja, praticamente a

metade da rotação, com eficiência superior a 83 %. A eficiência máxima foi obtida em idades mais próximas da idade final de rotação, porém o ganho genético obtido na metade da rotação compensou a antecipação, maximizando o ganho genético operacional. As conclusões de Lambeth *et al.* (1983) foram similares sendo que, analisando cinco ensaios genéticos de progênies de polinização aberta de *Pinus taeda* L., os indivíduos selecionados para volume de madeira na metade da rotação foram melhor correlacionados com o volume de madeira obtido na rotação final de vinte anos.

Outro estudo conduzido por pesquisadores americanos e australianos analisaram a idade ótima de seleção para de *Pinus taeda* L. para a variável altura total, em quatro ensaios genéticos implantados em Zimbabwe (GWAZE *et al.*, 1997). Os ensaios foram avaliados nas idades de 1,5, 9,5, 13,5 e 22,5 anos e concluíram que a correlação genética entre as idades foi de 76 a 97%, sendo a correlação genética sempre melhor que a correlação fenotípica. Os pesquisadores concluíram também que, assumindo a floração do ensaio aos dez anos de idades, nesta idade o ganho anual da seleção precoce compensa esta estratégia de acelerar a recomendação.

2.3 INTERAÇÃO GENÓTIPO-AMBIENTE DE *Pinus taeda* L.

O desempenho de um genótipo em relação a outro pode variar de acordo com o ambiente, de forma que genótipos que são superiores em um ambiente podem não ser em outro. Esta alteração no desempenho relativo dos genótipos, em virtude de diferenças de ambiente, ou, a resposta diferenciada dos genótipos quando submetidos a diferentes condições ambientais, denomina-se interação genótipo-ambiente. Quanto maior a diversidade genética entre os genótipos e entre os ambientes, de maior importância será a interação genótipo-ambiente, levando o melhorista a adotar, ou não, as “zonas de melhoramento” para minimizar os efeitos desta interação e maximizar os ganhos genéticos em cada local (BOREM, 1997; PIRES *et al.* 2011).

Nos estados do Paraná e Santa Catarina temos estudos de interação genótipo-ambiente com a espécie *Pinus taeda* L., com ensaios de progênies de meios-irmãos em empresas de base florestal. Martinez *et al.* (2012), analisaram 150

progênes de cinco procedências em ensaios implantados em Otacilio Costa, estado de Santa Catarina, e em Telêmaco Borba, estado do Paraná. Mesmo com a grande distância dos ensaios, os autores concluíram não haver interação genótipo-ambiente, porém analisaram os ensaios aos seis anos de idade e não apresentaram o cálculo da significância da adição do termo interação genótipo-ambiente no modelo estatístico utilizado.

Paludzyszyn Filho *et al.* (2001) também analisaram a interação genótipo-ambiente de *Pinus taeda* L. em três ensaios implantados no estado do Paraná e um ensaio no estado de São Paulo. Os autores também analisaram os ensaios em idade precoce de seis anos, porém, ao contrário de Martinez *et al.* (2012), concluíram haver interação genótipo-ambiente apresentando o cálculo da significância da interação no modelo estatístico utilizado. Até mesmo nos ensaios mais próximos, localizados nos municípios de Sengés e Jaguariaíva, a interação foi significativa.

Outro estudo de interação genótipo-ambiente com *Pinus taeda* L. realizado no Paraná foi conduzido por Duda (2003) com análise de três ensaios sendo dois ensaios localizados no município de Arapoti e um ensaio localizado no município vizinho chamando Jaguariaíva. O autor concluiu que a interação genótipo-ambiente não foi significativa devido à alta correlação genética entre os locais, porém sem análise da significância da interação. O autor verificou que a correlação genética entre os locais foi de alta magnitude superior a 0,8, porém também os ensaios foram avaliados em idades precoces de seis a sete anos.

Conforme citado anteriormente Ferreira (2005) realizou um estudo de seleção de *Pinus taeda* L. com progênes de polinização controlada em ensaios implantados nos municípios de Três Barras, Mafra, São João do Triunfo e Canoinhas, todos no estado de Santa Catarina próximos à divisa com o estado do Paraná, e sob enfoque de interação genótipos-ambientes concluiu que três dos quatro locais apresentaram correlações genéticas elevadas refletindo as condições edafo-climáticas equivalente entre estes sítios. Foi possível identificar genótipos superiores e com performance estável em todos os locais.

2.4 ESTIMAÇÃO DOS PARÂMETROS NO MELHORAMENTO GENÉTICO

Os parâmetros genéticos são os valores numéricos que permitem fazer inferências sobre a estrutura genética de uma população e variam para diferentes características, populações e idades. Com base nos dados dos ensaios genéticos, é possível se obter as médias e as variâncias e desta forma estimar os parâmetros genéticos, como as variâncias genéticas e seus componentes aditivos e não aditivos, a herdabilidade no sentido amplo ou restrito bem como as correlações genéticas entre as características, que são informações úteis para avaliação da potencialidade das populações para fins de melhoramento, bem como estabelecer estratégias eficazes de seleção (DUDA, 2003; CRUZ, 2012).

O melhoramento genético florestal é uma ciência relativamente nova, experimentando seu maior impulso a partir de 1960, onde até 1970 esta ciência florestal se utilizou dos conceitos estabelecidos e utilizados no melhoramento de culturas agrícolas anuais, principalmente, por meio da prática da seleção individual e seleção entre e dentro de progênies para caracteres isolados. A partir de 1980 se iniciou o uso de técnicas de índices de seleção envolvendo a utilização de informações de parentes e de vários caracteres simultaneamente, e a partir de 1990 temos o início de utilização de técnicas de avaliação genética adequadas para dados desbalanceados, aproveitando-se dos recentes desenvolvimentos da área de estimação de componentes de variância e predição dos parâmetros genéticos a nível de indivíduo, utilizando-se também de modelos mistos (RESENDE, 1997).

Resende *et al.* (1996a e 1996b) estudaram quais melhores ferramentas estatísticas para estimação de componentes de variância, visando a predição de parâmetros genéticos, bem como a melhor a ferramenta para própria predição destes valores genéticos em experimentos com *Pinus maximinoi* H.E.Moore. Para os componentes de variância foram avaliados os procedimentos de (i) quadrados mínimos, (ii) máxima verossimilhança e (iii) máxima verossimilhança restrita, dos quais a máxima verossimilhança restrita, cuja sigla é REML das iniciais da língua inglesa, foi o procedimento mais preciso, embora seja necessário maior recurso computacional. Para a predição dos parâmetros genético foram avaliados cinco procedimentos, sendo (i) quadrados mínimos ordinários, (ii) quadrados mínimos generalizados, (iii) melhor predição, (iv) melhor predição linear e finalmente a (v) melhor predição linear não viciada, ou, mais conhecida com a sigla BLUP pelas suas iniciais em inglês. Para os dados desbalanceados o melhor procedimento de

estimação foi o BLUP, surgindo desta forma o procedimento estatístico conhecido como REML/BLUP para melhor decompor as variâncias e melhor estimar os parâmetros genéticos de experimentos florestais.

Em pinus, os efeitos de dominância são, aparentemente, de baixa magnitude para as características de crescimento (volume de madeira, altura e diâmetro das árvores), com heterose praticamente nula. Os efeitos da capacidade específica de combinação não são importantes e a capacidade geral de combinação dos genitores é utilizada para predição da média de cruzamento entre eles. Neste sentido, um dos parâmetros de grande importância é a herdabilidade no sentido restrito, que é a proporção da variação fenotípica que pode ser atribuída a variância aditiva, ou seja, a parte da variação genética que é transmitida aos descendentes (PIRES *et al.*, 2011).

Como somente o valor fenotípico do indivíduo pode ser diretamente medido, mas é o valor genético que determina sua influência na próxima geração, os ensaios genéticos de progênie (aberta ou controlada) permitem avaliar esta proporção da variabilidade existente na progênie que é de natureza genética. Desta forma, a herdabilidade também pode ser entendida como o quadrado da correlação entre os valores fenotípicos e valores genéticos. A herdabilidade varia de 0 a 1, onde os valores próximos de 1 indicam uma alta correlação entre o valor fenotípico e genético, aumentando o sucesso da estratégia de seleção e ganhos genéticos. Os valores baixos indicam baixo controle genético demandando mais esforços e métodos de seleção mais elaborados, pois o valor fenotípico não é uma medida confiável do valor genético e a superioridade aparente de um indivíduo em relação a outro não deve ser por características genéticas e sim ambientais (PIRES *et al.* 2011; CRUZ, 2012).

Para *Pinus taeda* L temos vários estudos que indicam herdabilidades de 0,18 a 0,37 para altura das árvores, 0,14 tanto para diâmetro como para volume das árvores (BALOCCHI *et al.*, 1993; PAUL *et al.*, 1997² citado por DUDA, 2003). No Brasil, estudos dos pesquisadores Paludzyszyn Filho *et al.* (2002), Duda (2003) Martinez *et al.* (2012), realizados no Paraná, Santa Catarina e Sul de São Paulo, com progênies de polinização aberta, encontraram herdabilidades no sentido restrito

² PAUL, A.D., G.S. FOSTER, T. CALDWELL, AND J. MCRAE. Trends in genetic and environmental parameters for height, diameter, and volume in a multilocation clonal study with loblolly pine. For. Sci. n 43, p. 87–98, 1997.

variando de 0,18 a 0,46 para diâmetro das árvores e de 0,09 a 0,54 para altura das árvores, porém ambos os estudos as análises foram realizadas em idades precoces com idade máxima de oito anos. Ferreira (2005) em ensaios localizados em Santa Catarina estimou valores de herdabilidades elevados de 0,6, porém em estudo de progênies de polinização controlada.

CAPITULO I

VIABILIDADE DA SELEÇÃO PRECOCE DE *Pinus taeda* L. EM TRÊS LOCAIS NO
ESTADO DO PARANÁ, BRASIL.

3 VIABILIDADE DA SELEÇÃO PRECOCE DE *Pinus taeda* L. EM DIÂMETRO A ALTURA DO PEITO EM PROGRAMA DE MELHORAMENTO GENÉTICO.

Rodrigo T. Coutinho¹; João Carlos Bessalho² Filho; Caroline Frizzo³; Roberto Fritsche Neto⁴

¹ Mestrando do Programa de Pós-graduação em Agronomia - Produção Vegetal, PGAPV, UFPR, e-mail: tehudi@gmail.com ² Orientador, Departamento de Fitotecnia e Fitossanitarismo, UFPR, Curitiba, PR, e-mail: bespa@ufpr.br ³ Doutoranda do Programa de Pós-graduação em Agronomia - Produção Vegetal, PGAPV, UFPR, e-mail: carolinefrizzo@hotmail.com ⁴ Co-orientador, Departamento de Genética, ESALQ/USP, Piracicaba, SP, e-mail: roberto.neto@usp.br.

Autor para correspondência: Rodrigo T. Coutinho, e-mail: tehudi@gmail.com

RESUMO

A seleção dos genótipos superiores de *Pinus taeda* L. por meio de ensaios genéticos de campo requerem vários anos de duração. Com isto, vários pesquisadores investiram esforços na avaliação da seleção em idades anteriores à idade final de rotação. O objetivo deste trabalho foi analisar a viabilidade da seleção em progênies de meios-irmãos de *Pinus taeda* L., na idade de oito anos (seleção precoce) comparando com a seleção aos quinze anos (seleção tardia), visando definir qual a melhor estratégia. Para isto, os parâmetros e os ganhos genéticos, para a variável Diâmetro a Altura do Peito (DAP), foram preditos entre e dentro das progênies em ensaios localizados nos municípios de Campo do Tenente, Sengés e Jaguariaíva, estado do Paraná, Brasil. Foram observadas correlações significativas para o ordenamento das progênies e para correlação linear dos valores genéticos aditivos preditos entre as idades de oito e quinze anos. As herdabilidades obtidas neste estudo foram maiores em Campo do Tenente, onde observou-se maior crescimento, coincidindo também com o local de seleção das matrizes das progênies. Para o ensaio de Campo do Tenente a seleção com oito anos apresentou o mesmo ganho genético predito em relação a idade de quinze anos, tanto para a seleção dos genitores como seleção dos melhores indivíduos. Para o ensaio Morungava, município de Sengés, com as condições edafo-climáticas similares a Campo do Tenente, porém mais distante do local de seleção das matrizes, foi observado sucesso apenas na seleção precoce dos melhores indivíduos, visto que os genitores selecionados na seleção precoce não apresentaram diferença estatística. Para a seleção dos melhores indivíduos de forma precoce aos oito anos indica-se utilizar a restrição de número máximo de indivíduos por genitor por apresentar mesmo resultado estatístico porém com maior variabilidade genética. Para o ensaio Mocambo, também no município de Sengés, porém com condições edafo-climáticas muito distintas dos demais, não foi possível observar diferenças estatísticas tanto na seleção dos genitores como na seleção dos melhores indivíduos.

Palavras-chave: Modelos Mistos; Predição Genética; Melhoramento; Progênies.

ABSTRACT

The superior genotypes selection of *Pinus taeda* L. using genetic field trials require many years, due to the rotation age of commercial plantations, which consumes a lot of financial resources. Regarding this, many researchers have put their efforts in evaluate the selection in early ages prior to the final age of rotation. The goals of this study are to estimate, at the early age of eight years and final rotation age of fifteen years, the genetic parameters and the predicted genetic gains between and within the progenies of *Pinus taeda* L. half-sib family, with experiments established in three distinct locations in the state of Paraná, Brazil. There were significant correlations observed for the progenies ranking and for the linear correlation of the additive genetic gain between the age of eight and fifteen years. The obtained heritability in this study were greater in Campo do Tenente, where it was observed a greater growth, also concurring with the location of the evaluated half-sib family selection. For the Campo do Tenente experiment, the eight years old measures displayed the same predicted genetic gain of those from the fifteen years old measures, for either the parents or the best individual selection. For the Morungava experiment, located in the municipality of Senges, having similar soil and climate conditions of Campo do Tenente, however further away from the parents selection location, it was only possible to succeed in the best individual selection at eight years old age, whereas the parents selection at this age have not showed significant statistical difference apart the control. For the best individual selection at early age, it is recommended to utilize the maximum number of individuals per genitor restriction, due to showing the same statistical results of the selection at fifteen years old, but with greater genetic variability. For the Mocambo experiment, also in the municipality of Senges, but with soil and climate conditions very different, it was not possible to detect statistical differences for neither the parents nor the best individual selection.

Keywords: Mixed Models, Genetic Prediction, Improvement, Progenies.

3.1 INTRODUÇÃO

O plantio de *Pinus* no Brasil engloba aproximadamente 1,6 milhões de hectares dos quais aproximadamente 1,2 milhões de hectares, 76 %, estão localizados nos estados do Paraná e de Santa Catarina (IBÁ, 2015), sendo esta produção florestal muito utilizada pelo setor de painéis de madeira industrializada, que apresenta um crescimento médio de 8,3 % a.a. (ABRAF, 2012). Com este aumento expressivo temos a necessidade cada vez maior de aumentar a produção florestal na mesma proporção para possibilitar o abastecimento destas indústrias. Desta forma o melhoramento genético do *Pinus taeda* L., principal espécie utilizada, tem sido prioridade e de grande importância. Um segundo fator para aumentar a produtividade florestal se deve pelas dificuldades que as empresas de base florestal dos estados do Paraná e Santa Catarina têm para a compra de novas áreas, pois estes estados se caracterizam, por sua maioria, de minifúndios e terras com elevado preço.

O melhorista precisa atuar na predição do valor genético dos indivíduos e decidir sobre a melhor forma de utilização dos indivíduos com os maiores valores genéticos preditos, seja para o uso em plantios comerciais ou para realização de novos cruzamentos (RESENDE, 2002; PIRES *et al.*, 2011). Por isto, todo melhorista enfrenta o dilema entre predizer e recomendar genótipos superiores antes da idade de rotação ou aguardar o final do ensaio. A seleção dos genótipos superiores de *Pinus taeda* L. por meio de ensaios genéticos de campo requerem vários anos de duração, devido à idade de rotação dos plantios comerciais serem de aproximadamente quinze anos. Com isto vários pesquisadores investiram esforços em avaliar a seleção em idades precoces anteriores à idade de quinze anos, como Paludzyszyn Filho, *et al.* (2002) que analisaram a seleção genética de *Pinus taeda* L. em duas idades distintas em ensaios genéticos implantados no estado do Paraná.

Estes últimos autores concluíram que os ganhos genéticos aditivos preditos foram similares para as duas idades estudadas, revelando alto potencial para a seleção precoce, e o mais importante que aguardar a seleção na idade final de rotação não supera o benefício de se obter oferta antecipada de sementes com a seleção precoce. Lambeth *et al.* (1983), Foster (1986) e Mckeand (1988) também analisaram este dilema entre recomendar genótipos superiores de forma precoce ou

aguardar a idade de rotação. Foster (1986) analisou onze ensaios genéticos de *Pinus taeda* L. e para a variável volume concluiu que a seleção precoce obteve eficiência superior a 85 % na idade de cinco anos em relação a quinze anos. Concluiu também que a herdabilidade para o volume total permaneceu estável entre as idades analisadas. Mckeand (1988) analisou dezoito ensaios genéticos de *Pinus taeda* L. da Cooperativa de Melhoramento da Universidade da Carolina do Norte, concluindo que a melhor idade precoce para maximizar o ganho genético foi entre as idades de seis a oito anos para uma rotação final de dezesseis anos, ou seja, praticamente a metade da rotação, com eficiência superior a 83 %. A eficiência máxima foi obtida em idades mais próximas da idade final de rotação, porém o ganho genético obtido na metade da rotação compensou a antecipação, maximizando o ganho genético operacional. As conclusões de Lambeth *et al.* (1983) foram similares sendo que, analisando cinco ensaios genéticos de progênies de polinização aberta de *Pinus taeda* L., os indivíduos selecionados para volume de madeira na metade da rotação com 10 anos foram melhor correlacionados com o volume de madeira obtido na rotação final de vinte anos.

Conforme necessidade e contexto exposto acima, os objetivos principais deste trabalho foram analisar a seleção precoce, predizendo os ganhos genéticos dos genitores e melhores indivíduos de progênies de meios-irmãos de *Pinus taeda* L., na idade de oito anos (seleção precoce) comparando com a seleção aos quinze anos (seleção tardia), visando definir qual a melhor estratégia a ser adotada em um programa de melhoramento genético.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

Os ensaios genéticos foram implantados com progênies de meios-irmãos de *Pinus taeda* L., com sementes coletadas de 70 matrizes selecionadas fenotipicamente em plantios comerciais com cinco anos de idade com critério de seleção de crescimento e sanidade. Esta seleção das matrizes foi realizada em Campo do Tenente no ano de 1994 com intensidade de seleção de aproximadamente 1 matriz para cada 6.143 árvores candidatas. A procedência das sementes que formaram as mudas deste plantio comercial, onde se realizou esta seleção, foi o pomar clonal de primeira geração de uma empresa florestal sediada em Três Barras, estado de Santa Catarina. Muito provável que este pomar foi formado com seleção de matrizes em plantios comerciais localizados nesta mesma região de Três Barras, e que a origem genética do plantio destas matrizes sejam os estados americanos de Carolina do Sul, Carolina do Norte e Geórgia. A localização das seleções e ensaios estão apresentados na FIGURA 3.1.

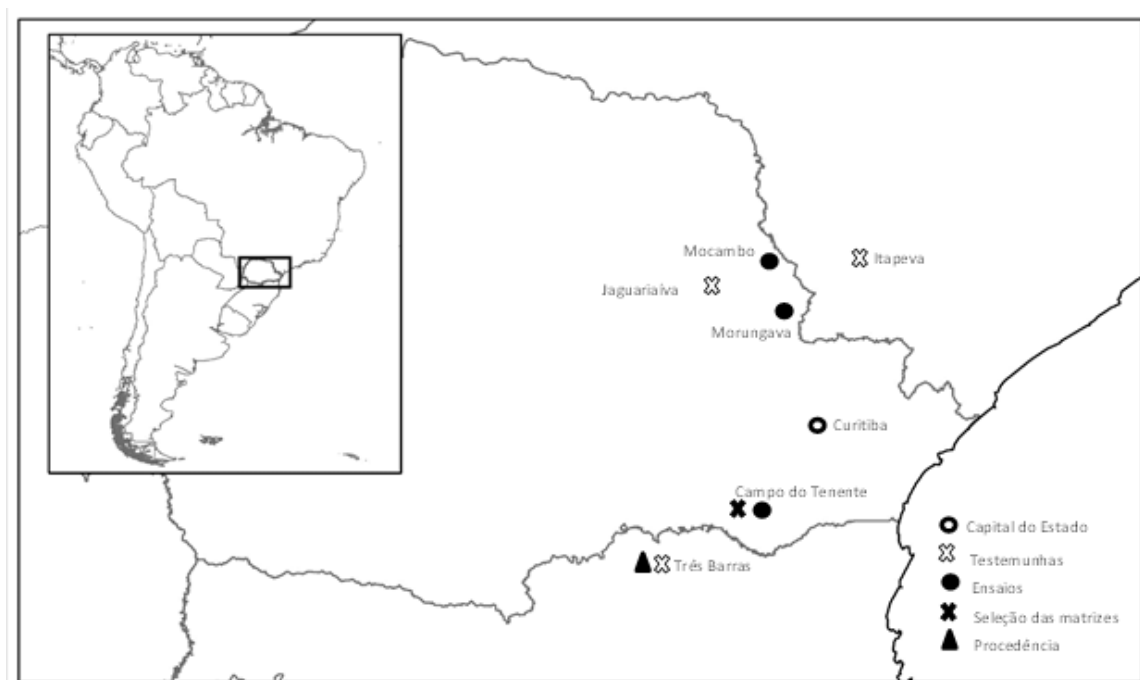


FIGURA 3.1: Mapa de localização dos ensaios implantados em Campo do Tenente, Morungava e Mocambo, com o local da procedência das matrizes no município de Três Barras, localização da seleção fenotípica das matrizes que geraram as progênies meios-irmãos em Campo do Tenente, e localização das testemunhas utilizadas.

Após a seleção de 1994 das 70 matrizes com cinco anos de idade se iniciou a coleta das sementes no mesmo local onde as matrizes foram selecionadas, até que no ano de 1997 se obteve lotes de sementes que possibilitaram a implantação dos três ensaios de progênes de polinização aberta (progênes de meios-irmãos). Devido à baixa oferta de sementes e o delineamento estatístico adotado, ocorreu um desbalanceamento dos tratamentos entre os locais e, desta forma, os ensaios localizados em Campo do Tenente, Morungava e Mocambo foram implantados com respectivamente 60, 66 e também 66 progênes cada. Adicionalmente, em todos os ensaios foram implantadas quatro testemunhas sendo: (i) mudas formadas com sementes de polinização aberta do pomar clonal da empresa localizada no município de Três Barras, apresentada com o código 71 nos resultados (ii) mudas formadas com sementes de polinização aberta de uma área de produção de sementes localizada no município de Itapeva, estado de São Paulo, apresentada com o código 72 (iii) mudas formadas com sementes de polinização aberta de um pomar clonal de sementes localizado no município de Jaguariaíva com código 73 e (iv) mudas formadas com sementes de polinização controlada deste último pomar clonal de sementes do município de Jaguariaíva com código 74.

Os ensaios foram implantados com parcelas lineares de cinco plantas em blocos ao acaso com oito repetições, totalizando em cada local quarenta plantas por tratamento. O espaçamento utilizado foi de 3,0 metros (m) entre linhas e 2,0 m entre plantas, visando manejo sem desbastes e corte raso aos quinze anos. Estes três ensaios implantados em 1998 foram avaliados no ano de 2006 com oito anos de idade e no ano de 2013 com a idade de rotação final de quinze anos. As avaliações foram medição direta do diâmetro a altura do peito (DAP) e estimativa da altura total da árvore (Ht) com hipsômetro. Com estas duas variáveis foi estimado o volume total da árvore com equação polinomial de 5º. grau utilizada de forma operacional na empresa proprietária dos ensaios.

As caracterizações edafo-climáticas dos ensaios de progênes estão apresentadas no QUADRO 3.1.

O teste de progênie no município de Campo do Tenente está localizado a 870 m de altitude com solo do tipo Cambissolo húmico ta alumínico típico textura argilosa com profundidade 120 cm+ conforme classificação brasileira de solos (EMBRAPA, 2013). A geologia de origem deste solo é o Grupo Itararé, porém com

sedimentos do tipo folhelhos (MINEROPAR, 2006). O clima segundo Koeppen é Cfb, ou seja, sempre úmido, apresentando nos três meses mais frios com temperatura média do ar entre três graus negativos a dezoito graus positivos, e também com o mês mais quente com temperatura média do ar menor que 22° C, e demais onze meses com temperatura média do ar maior que 10°. C, e este ensaio está localizado no fitogeografia Floresta Ombrófila Mista que também é conhecido como Mata de Araucárias (MAACK, 2002). Ainda segundo este último autor temos mais de cinco geadas noturnas por ano e raramente neve. A precipitação média anual com série histórica de 1977 a 2006 para este ensaio é de 1.500 a 1.600 mm (CPRM, 2006).

Local	CAMPO DO TENENTE	MORUNGAVA	MOCAMBO
Município	Campo do Tenente	Sengés	
Geologia	Grupo Itararé origem sedimentar folhelhos	Grupo Itatiaia origem metamórfica	Grupo Itararé origem sedimentar arenito
Clima	Cfb Clima temperado		Cfa Clima temperado quente
Precipitação	1.500 a 1.600 mm	1.300 a 1.400 mm	
Solo	Cambissolo húmico ta aluminico típico textura argilosa profundidade 120cm+	Cambissolo húmico tb distrófico típico textura argilosa cascalhenta profundidade 120cm+	Cambissolo háplico tb distrófico típico textura média prof. 100cm
Altitude	870 m	970 m	715 m
Fitogeografia	Floresta Ombrófila Mista		Cerrado

QUADRO 3.1- Localização dos testes de progênies de meios-irmãos de *Pinus taeda* L., bem como as condições edafo-climáticas dos locais. Fonte: do autor

O teste de progênie Morungava localizado no município Sengés está a 970 m de altitude com solo Cambissolo húmico tb distrófico típico textura argilosa cascalhenta com profundidade 120 cm+ conforme classificação brasileira de solos (EMBRAPA, 2013). A geologia de origem deste solo é o Grupo Itatiaia, porém com sedimentos de rochas metamórficas (MINEROPAR, 2006). O clima e fitogeografia são os mesmos de Campo do Tenente, ou seja, conforme descrito anteriormente, porém a precipitação média anual para este ensaio é de 1.300 a 1.400 mm (CPRM, 2006), ou seja, no mínimo 100 mm menor que a precipitação de Campo do Tenente.

O teste de progênie Mocambo também se localiza no município de Sengés porém, além de diferenças em relação a Morungava na altitude, geologia e solos,

apresenta também clima e fitogeografia muito peculiares. A altitude é a menor entre os demais ensaios com 715 m de altitude e o solo é do tipo Cambissolo háplico tb distrófico típico textura média com profundidade 100 cm conforme classificação brasileira de solos (EMBRAPA, 2013). O Clima é do tipo Cfa, ou seja, clima temperado quente com o mês mais quente com temperatura média do ar maior que 22° C, e o fitogeografia no local do ensaio é Cerrado que também descrito por Maack (2002) como Campos Cerrados ou estepes arbustivas. Segundo este último autor o município de Sengés localiza-se em meio a estes campos de cerrados. Embora a distância em linha do ensaio localizado na fazenda Morungava e Mocambo ser de aproximadamente 50 km e pertencerem ao mesmo município de Sengés, ambos os ensaios estão em clima, fitogeografia, geologia e solo, e altitude muito distintos, pois nesta região temos a transição do primeiro para o segundo planalto do Paraná e também de um clima típico sub-tropical do clima típico tropical.

Para aumentar a acurácia e mitigar os efeitos das árvores vizinhas mortas, foi realizado a correção do índice de falhas (IF) segundo Pires *et al.* (2011) calculando o IF de cada árvore e utilizando como covariável nas análises estatísticas. Pelo espaçamento utilizado nos ensaios o IF foi calculado pela equação: $IF = (1,0 \times n^{\circ} \text{ de falhas na vizinhança da Linha de plantio}) + (0,6667 \times n^{\circ} \text{ de falhas na vizinhança na entrelinha ao lado}) + (0,5547 \times n^{\circ} \text{ de falhas na vizinhança na diagonal})$.

Neste trabalho foi utilizado o modelo estatístico linear misto por meio de máxima verossimilhança restrita, cuja sigla é REML das iniciais da língua inglesa, e melhor predição linear não viciada, cuja sigla é BLUP das iniciais da língua inglesa, por se tratar da melhor ferramenta estatística para decompor as variâncias e melhor estimar os parâmetros genéticos de experimentos florestais (RESENDE *et al.*, 1996a e 1996b). O modelo linear misto foi utilizado, conforme Resende (2007), com a equação abaixo, onde “y” representa o vetor de dados fenotípicos, “r” é o vetor dos efeitos de repetição (assumidos como fixos) somados à média geral, “a” é o vetor dos efeitos genéticos aditivos individuais (assumidos como aleatórios), “p” é o vetor dos efeitos de parcela (assumidos como aleatórios) e “e” representa o vetor de erros ou resíduos (aleatórios). O coeficiente “β” refere-se à regressão associada a covariável índice de falhas, e as letras maiúsculas representam as matrizes de incidência para os referidos efeitos.

$$y = Xr + \beta\text{Cov} + Z_a + W_p + e$$

Os efeitos dos modelos foram testados cientificamente pelo Teste da Razão de Verossimilhança (LRT), ou seja, pela diferença das deviances dos modelos e teste qui-quadrado com grau de liberdade igual a 1. Para correlação do ranking dos genitores foi utilizado a Correlação de *Spearman*, ou de postos, pois dados pareados não seguem a uma distribuição normal (DIAS e BARROS, 2009). Para correlação dos valores genéticos aditivos preditos foi utilizado coeficiente de correlação de *Pearson* e regressão linear com os cálculos da significância da regressão, erro padrão da estimativa e coeficiente de determinação.

Para a eficiência da seleção precoce dos genitores foram comparados os dez melhores genitores selecionados aos oito anos de idade com seus respectivos desempenhos aos quinze anos de idade. O desempenho do genitor selecionado de forma precoce foi avaliado em relação a melhor de qualquer das três testemunhas de polinização aberta. Para esta comparação estatística dos valores genéticos aditivos dos genitores, e definição de diferença significativa ou não, foi adotado o intervalo de confiança a 5 % de probabilidade conforme Cumming *et al.* (2007) utilizando o desvio padrão obtido para o modelo estatístico completo. Os dez melhores genitores selecionados aos oito anos foram considerados aprovados aos quinze anos quando apresentaram o limite inferior do intervalo de confiança superior ao limite superior do intervalo de confiança da melhor testemunha de polinização aberta. Com base neste critério o ganho genético alcançado com a seleção aos quinze anos, fruto da seleção precoce aos oito anos, foi estimado por meio da equação:

$$\text{Ganho} = \left\{ \left[\left(\frac{\sum V_{aa}}{n_{fa}} \right) + \text{média geral} \right] \cdot \left(\frac{n_{fa}}{10} \right) \right\} + \left\{ \left[\frac{10 - n_{fa}}{10} \right] \cdot \text{média testemunha} \right\}$$

Na equação acima “Ganho” representa a média aos quinze anos fruto da seleção aos oito anos dos dez melhores genitores, “ $\sum V_{aa}$ ” representa a soma do valor genético aditivo dos genitores aprovados aos quinze anos, “ n_{fa} ” é o número

das progênes ou genitores aprovados aos quinze anos, “média geral” corresponde à média geral do ensaio e “média testemunha” representa a média da melhor de qualquer das três testemunhas de polinização aberta utilizada no ensaio. A equação visa ponderar a média operacional pela quantidade de progênes aprovadas levando em conta que as dez progênes foram plantadas operacionalmente de forma igualitárias, ou seja, mescla de sementes, e considerando que as progênes não aprovadas tiveram a mesma média que a melhor testemunha de polinização aberta (semente disponível sem necessidade de investimento em programa de melhoramento).

Para avaliação da seleção precoce dos melhores indivíduos também foi adotado o intervalo de confiança a 5% de probabilidade utilizando o desvio padrão obtido para o modelo estatístico completo, adotando-se o critério de seleção dos 30 melhores indivíduos do teste de progênie, porém foram realizadas as estimativas com cinco cenários distintos para este pomar de segunda geração: (i) “Tardia. 30 ind.” representa o pomar clonal de segunda geração implantado de forma tardia com a seleção dos 30 melhores indivíduos aos quinze anos de idade sem restrição de quantidade de indivíduos por família; (ii) “Precoce. 30 ind” representa a média obtida aos quinze anos com a seleção aos oito anos dos 30 melhores indivíduos sem restrição de quantidade de indivíduos por família, ou seja, o resultado da média aos quinze anos do pomar clonal de segunda geração implantado de forma precoce sem nenhuma preocupação com tamanho efetivo populacional; (iii) “Tardia 3/fam. 30 ind.” representa a média do resultado obtido com a seleção dos 30 melhores indivíduos aos quinze anos de idade com restrição de máximo três indivíduos por família para evitar uma redução drástica no tamanho efetivo populacional; (iv) “Precoce 3/fam. \underline{x} ind” representa um pomar clonal de segunda geração implantado de forma precoce com todos os indivíduos selecionados aos oito anos e posteriormente, com a avaliação aos quinze anos, retirado todos os indivíduos que não foram selecionados na idade final, sendo ambas as seleções com restrição três indivíduos por família; e por fim (v) “Precoce 3/fam, 30 ind.” representa o pomar clonal de segunda geração implantado de forma precoce apenas com a seleção dos 30 melhores indivíduos selecionados aos oito anos de idade com restrição de máximo três indivíduos por família à média geral do ensaio e “média testemunha” representa a média da melhor de qualquer das três testemunhas de polinização

aberta utilizada no ensaio. A equação visa ponderar a média operacional pela quantidade de progênies aprovadas levando em conta que as dez progênies foram plantadas operacionalmente de forma igualitárias, ou seja, mescla de sementes, e considerando que as progênies não aprovadas tiveram a mesma média que a melhor testemunha de polinização aberta (semente disponível sem necessidade de investimento em programa de melhoramento). Para avaliação da seleção precoce dos melhores indivíduos também foi adotado o intervalo de confiança a 5% de probabilidade utilizando o desvio padrão obtido para o modelo estatístico completo, adotando se o critério de seleção dos 30 melhores indivíduos do teste de progênie, porém foram realizadas as estimativas com cinco cenários distintos para este pomar de segunda geração: (i) “Tardia. 30 ind.” representa o pomar clonal de segunda geração implantado de forma tardia com a seleção dos 30 melhores indivíduos aos quinze anos de idade sem restrição de quantidade de indivíduos por família; (ii) “Precoce. 30 ind” representa a média obtida aos quinze anos com a seleção aos oito anos dos 30 melhores indivíduos sem restrição de quantidade de indivíduos por família, ou seja, o resultado da média aos quinze anos do pomar clonal de segunda geração implantado de forma precoce sem nenhuma preocupação com tamanho efetivo populacional; (iii) “Tardia 3/fam. 30 ind.” representa a média do resultado obtido com a seleção dos 30 melhores indivíduos aos quinze anos de idade com restrição de máximo três indivíduos por família para evitar uma redução drástica no tamanho efetivo populacional; (iv) “Precoce 3/fam. \underline{x} ind” representa um pomar clonal de segunda geração implantado de forma precoce com todos os indivíduos selecionados aos oito anos e posteriormente, com a avaliação aos quinze anos, retirado todos os indivíduos que não foram selecionados na idade final, sendo ambas as seleções com restrição três indivíduos por família; e por fim (v) “Precoce 3/fam, 30 ind.” representa o pomar clonal de segunda geração implantado de forma precoce apenas com a seleção dos 30 melhores indivíduos selecionados aos oito anos de idade com restrição de máximo três indivíduos por família.

Para estimar o tamanho efetivo populacional foi utilizado a equação descrita por Resende (2007) e Pires *et al.* (2011) para progênies de meios-irmãos, considerando as matrizes não aparentadas, onde “Ne” representa o tamanho efetivo populacional, “Nf” representa o número total de progênies selecionadas, “kf”

representa o número médio de indivíduos selecionados por família e “ σ_{kf}^2 ” corresponde a variância do número de indivíduos selecionados por família.

$$Ne = \frac{4 \cdot Nf \cdot kf}{kf + 3 + \left(\frac{\sigma_{kf}^2}{kf} \right)}$$

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O crescimento médio para a variável volume médio do fuste foi similar com 0,57 e 0,51 metros cúbicos sólidos com casca (m^3_{ssc}) em Campo do Tenente e Morungava, respectivamente, possivelmente por apresentarem mesmo clima e fitogeografia, e foi observado praticamente metade do crescimento para o ensaio Mocambo com 0,26 m^3_{ssc} (TABELA 3.1).

A diferença entre Campo do Tenente em relação a Morungava pode ser explicada pelo maior volume de precipitação média para Campo do Tenente, visto que a ordem do solo e profundidade serem similares. Como era esperado, as correlações fenotípicas para a mesma idade em cada local foram elevadas apenas entre a variável DAP e volume, sendo todas superiores a 0,96. Devido a esta elevada correlação do DAP com o volume estimado se optou por estimar os parâmetros genéticos e realizar os estudos com a variável DAP, pois se trata de uma medição direta com baixo nível de erro.

Para todos os locais e idades o coeficiente de determinação e consequentemente o componente de variância do efeito da progênie foi significativo a 1%, com exceção do ensaio Mocambo aos quinze anos com 5% de significância, sendo permitido desta forma a predição dos valores genéticos com este termo no modelo. O menor efeito da progênie no ensaio Mocambo aos quinze anos pode ser explicado pelo menor crescimento que o ambiente proporcionou a este material genético testado, pois como citado anteriormente, a seleção dos genitores das progênies de meios-irmãos ocorreu em Campo do Tenente com fitogeografia e clima muito distintos (TABELA 3.2). Nos três locais de estudo os efeitos da parcela não foram significativos aos oito anos de idade, porém foram altamente significativos no final da rotação, provavelmente pela maior competição das árvores adultas quando no fechamento do dossel do ensaio e maiores incrementos anuais de crescimento. Isto reforça a necessidade de correção das falhas das árvores vizinhas conforme citado anteriormente. O efeito fixo bloco não foi significativo na idade de rotação em nenhum dos ambientes, basicamente pelo crescimento desta espécie não ser tão sensível a variações pequenas no microambiente físico.

TABELA 3.1: ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS E CORRELAÇÕES FENOTÍPICAS PARA AS VARIÁVEIS DENTRO DE CADA LOCAL.

ESTATÍSTICAS BÁSICAS																								
Local							Campo do Tenente						Morungava						Mocambo					
Idade		8 anos			15 anos			8 anos			15 anos			8 anos			15 anos							
Variável	DAP	Ht	Volume	DAP	Ht	Volume	DAP	Ht	Volume	DAP	Ht	Volume	DAP	Ht	Volume	DAP	Ht	Volume						
Media	20,5	14,7	0,2291	25,6	24,0	0,5710	20,7	14,5	0,2316	23,9	23,9	0,5086	16,2	11,5	0,1114	19,3	17,6	0,2547						
Variância	11,7	3,3	0,0067	18,7	1,9	0,0449	13,5	1,6	0,0081	19,2	2,8	0,0438	7,8	1,5	0,0019	13,1	4,0	0,0117						
Desvio	3,4	1,8	0,0819	4,3	1,4	0,2120	3,7	1,3	0,0897	4,4	1,7	0,2094	2,8	1,2	0,0437	3,6	2,0	0,1081						
CV %	17,0	12,4	35,8	16,9	5,8	37,2	17,7	8,7	38,7	18,3	7,0	41,2	17,3	10,6	39,3	18,7	11,4	42,5						
Máximo	34,1	27,9	0,6927	40,7	27,9	1,5409	34,1	17,7	0,6823	40,7	27,4	1,4910	25,5	14,1	0,2965	30,6	21,3	0,6759						
Mínimo	8,2	8,6	0,0213	14,0	17,3	0,1337	6,4	7,0	0,0144	12,4	17,9	0,1114	4,5	6,0	0,0043	5,7	7,9	0,0112						
CORRELAÇÕES FENOTÍPICAS																								
Local		Campo do Tenente						Morungava						Mocambo										
Idade		8 anos			15 anos			8 anos			15 anos			8 anos			15 anos							
Variável		DAP	Ht	Volume	DAP	Ht	Volume	DAP	Ht	Volume	DAP	Ht	Volume	DAP	Ht	Volume	DAP	Ht	Volume					
8 anos	DAP	1,00	0,84	0,96	0,70	0,40	0,69	1,00	0,66	0,98	0,74	0,40	0,72	1,00	0,78	0,97	0,82	0,59	0,79					
	Ht		1,00	0,33	0,34	0,35	0,35		1,00	0,73	0,35	0,50	0,39		1,00	0,82	0,64	0,68	0,65					
	Vol			1,00	0,80	0,50	0,80			1,00	0,79	0,49	0,79			1,00	0,84	0,63	0,85					
15 anos	DAP				1,00	0,65	0,99				1,00	0,50	0,98				1,00	0,73	0,98					
	Ht					1,00	0,70					1,00	0,59					1,00	0,78					
	Vol						1,00						1,00						1,00					

A variável DAP representa diâmetro a altura do peito (cm), a variável Ht representa a altura total da árvore (m) e a variável Volume representa o volume do fuste da árvore com casca (m3scc). A variável CV % representa o coeficiente de variação total da amostra.

TABELA 3.2: ANÁLISE DE DEVIANCE COM OS COMPONENTES DA VARIÂNCIA, COMPONENTES DE DETERMINAÇÃO E O TESTE DA RAZÃO DE VEROSSIMILHANÇA DE CADA EFEITO, DAS ANÁLISES SEPARADAS PARA CADA LOCAL, PARA VARIÁVEL DIÂMETRO A ALTURA DO PEITO (DAP CM).

LOCAL	IDADE (ANOS)	EFEITO	DEVIANCE	TESTE DA RAZÃO DE VEROSSIMILHANÇA (LRT)	COMPONENTES DA VARIÂNCIA	COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO
Campo do Tenente	8	Progênie	8.869,95	27,73**	2,591430 **	$h^2a = 0,257280^{**}$
		Parcela	8.839,87	-2,35 ^{ns}	0,034675 ^{ns}	$c^2_{\text{parc}} = 0,003443^{ns}$
		Resíduo	-	-	7,446304	$c^2_{\text{res}} = 0,739277$
		Modelo	8.842,22	-	-	-
	Bloco			teste F = 0,162255*	QM ef = 1,2082	
	15	Progênie	11.251,47	-171,28**	3,369405**	$h^2a = 0,18587^{**}$
		Parcela	11.414,59	-8,16**	0,071792**	$c^2_{\text{parc}} = 0,003960^{**}$
		Resíduo	-	-	14,68669	$c^2_{\text{res}} = 0,81017$
		Modelo	11.422,75	-	-	-
	Bloco			teste F = 0,367442 ^{ns}	QM ef = 5,3965	
Morungava	8	Progênie	10.417,95	-62,61**	2,232544**	$h^2a = 0,166570^{**}$
		Parcela	10.479,40	-1,16 ^{ns}	0,043535 ^{ns}	$c^2_{\text{parc}} = 0,003248^{ns}$
		Resíduo	-	-	11,126995	$c^2_{\text{res}} = 0,830182$
		Modelo	10.480,56	-	-	-
	Bloco			teste F = 0,10052**	QM ef = 1,1185	
	15	Progênie	12.380,49	-153,54**	2,442819**	$h^2a = 0,130978^{**}$
		Parcela	12.416,19	-117,84**	0,681223**	$c^2_{\text{parc}} = 0,036525^{**}$
		Resíduo	-	-	15,526585	$c^2_{\text{res}} = 0,832497$
		Modelo	12.534,03	-	-	-
	Bloco			teste F = 0,246036 ^{ns}	QM ef = 3,8201	
Mocambo	8	Progênie	8.871,30	19,51**	0,720222**	$h^2a = 0,094382^{**}$
		Parcela	8.849,18	-2,61 ^{ns}	0,039757 ^{ns}	$c^2_{\text{parc}} = 0,00521^{ns}$
		Resíduo	-	-	6,870909	$c^2_{\text{res}} = 0,900408$
		Modelo	8.851,79	-	-	-
	Bloco			teste F = 1,713427 ^{ns}	QM ef = 11,7728	
	15	Progênie	10.586,87	4,84*	0,979058*	$h^2a = 0,076782^*$
		Parcela	10.577,23	-4,80*	0,062892*	$c^2_{\text{parc}} = 0,004932^*$
		Resíduo	-	-	11,709171	$c^2_{\text{res}} = 0,918286$
		Modelo	10.582,03	-	-	-
	Bloco			teste F = 0,837412 ^{ns}	QM ef = 9,8054	

Os valores com o símbolo ** e * representam estatisticamente os valores onde foram encontradas diferenças significativas a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente. Os valores com o símbolo ns representam os valores sem efeito significativo. Efeito fixo= ef. FONTE: Do autor.

As herdabilidades variaram de 0,08 a 0,26 e diminuíram em todos os locais entre as idades de oito anos e quinze anos, consequentemente também diminuiu a

acurácia entre as duas avaliações. As herdabilidades foram relacionadas diretamente ao ambiente, onde Campo do Tenente, caracterizado como melhor ambiente com maior volume médio individual, apresentou as maiores herdabilidades, em ambas as idades, seguidos de Morungava e Mocambo, com menor herdabilidade, acurácia e crescimento volumétrico. A variância residual apresentou baixa amplitude entre os locais para uma mesma idade, sendo a maior amplitude observada de 4,26 entre Morungava e Mocambo na idade de oito anos (TABELA 3.3).

Para *Pinus taeda* L vários estudos indicam herdabilidades de 0,18 a 0,37 para altura das árvores, e 0,14 para diâmetro e volume das árvores (BALOCCHI *et al.*, 1993; PAUL *et al.*, 1997 citado por DUDA, 2003). No Brasil, estudos dos pesquisadores Paludzyszyn Filho *et al.* (2002), Duda (2003) e Martinez *et al.* (2012) realizados no Paraná, Santa Catarina e Sul de São Paulo, com progênes de polinização aberta, encontraram herdabilidades no sentido restrito variando de 0,18 a 0,46 para diâmetro das árvores, porém ambos os estudos as análises foram realizadas em idades precoces com idade máxima de oito anos.

O desvio padrão do valor genotípico predito de progênes, assumindo sobrevivência completa, foi baixo com percentual de aproximadamente 2,0% em relação à média geral do experimento em todos os locais e idades. A média da covariável índice de falhas foi pequena na idade precoce em todos os locais, pois todos os três locais apresentaram sobrevivência média geral de 98%, porém a média do índice de falhas aumentou de forma considerável na idade da rotação final. Embora a sobrevivência média geral na rotação final de quinze anos de Campo do Tenente e Mocambo serem similares, com aproximadamente 82 e 84%, e Morungava com 94% de sobrevivência, esta média do índice de falhas apresentou comportamento inverso ao maior potencial de crescimento, ou seja, em Campo do Tenente o maior crescimento proporcionou maior mortalidade tardia de árvores de forma dispersa e não agrupada, como ocorreu no ensaio Mocambo. Este comportamento da sobrevivência geral ser similar, porém o índice de falhas ser tão distinto, reforça a hipótese de se corrigir o efeito do menor número de árvores vizinhas em todos os tratamentos via covariável conforme recomendação de Pires *et al.* (2011).

TABELA 3.3: ANÁLISE DE MÁXIMA VEROSSIMILHANÇA RESTRITA COM OS COMPONENTES DA VARIÂNCIA, COMPONENTES DE DETERMINAÇÃO, ACURÁCIA E COEFICIENTES DE VARIAÇÃO, DAS ANÁLISES SEPARADAS PARA CADA LOCAL, PARA VARIÁVEL DIÂMETRO A ALTURA DO PEITO (DAP CM).

COMPONENTES DE VARIÂNCIA (REML INDIVIDUAL)	CAMPO DO TENENTE		MORUNGAVA		MOCAMBO		JAGUARIAÍVA
	8 anos	15 anos	8 anos	15 anos	8 anos	15 anos	8 anos
	1	2	3	4	5	6	7
Va	2,59143**	3,36941**	2,23254**	2,44282**	0,72022**	0,97906*	0,94507**
Vparc	0,03468 ^{ns}	0,07179**	0,04354 ^{ns}	0,68122**	0,03976 ^{ns}	0,06289*	0,33183*
Ve	7,45	14,69	11,13	15,53	6,87	11,71	7,27
Vf	10,07	18,13	13,40	18,65	7,63	12,75	8,55
h2a	0,25728**	0,18587**	0,16657**	0,13098**	0,09438**	0,07678*	0,11056**
	+/- 0,0574	+/- 0,0532	+/- 0,0441	+/- 0,0423	+/- 0,0332	+/- 0,0306	+/- 0,0391
h2aj	0,2582	0,1866	0,1671	0,1359	0,0949	0,0772	0,1150
c2parc	0,003443 ^{ns}	0,00396**	0,00325 ^{ns}	0,03653**	0,00521 ^{ns}	0,0049*	0,03882*
h2mp	0,7304	0,6572	0,6317	0,5405	0,4862	0,4342	0,4951
Acprog	0,8547	0,8107	0,7948	0,7352	0,6973	0,6589	0,7036
h2ad	0,2070	0,1468	0,1308	0,1055	0,0729	0,0590	0,0888
CVgi%	7,84	7,17	7,23	6,55	5,25	5,12	5,36
CVgp%	3,92	3,59	3,61	3,27	2,62	2,56	2,68
CVe%	6,74	7,32	7,81	8,54	7,63	8,26	7,66
CVr	0,58	0,49	0,46	0,38	0,34	0,31	0,35
PEV	0,1746	0,2887	0,2056	0,2806	0,0925	0,1385	0,1193
SEP	0,4179	0,5373	0,4534	0,5297	0,3041	0,3721	0,3454
Média geral do experimento	20,5	25,6	20,7	23,9	16,2	19,3	18,1
Beta	0,9178	1,0280	1,1926	1,1197	0,7681	0,8904	
Média Cov	0,1210	0,9944	0,1235	0,9011	0,1157	0,3415	

Va= variância genética aditiva. Vparc= variância ambiental entre parcelas. Ve= variância residual (ambiental + não aditiva). Vf= variância fenotípica individual. h2a= herdabilidade individual no sentido restrito, ou seja, dos efeitos aditivos. h2aj= herdabilidade individual no sentido restrito, ajustada para os efeitos de parcela. c2parc= coeficiente de determinação dos efeitos de parcela. h2mp= herdabilidade da média de progênes, assumindo sobrevivência completa. Acprog= acurácia da seleção de progênes, assumindo sobrevivência completa. h2ad= herdabilidade aditiva dentro de parcela. CVgi%= coeficiente de variação genética aditiva individual. CVgp%= coeficiente de variação genotípica entre progênes. CVe%= coeficiente de variação residual. CVr= coeficiente de variação relativa. PEV= variância do erro de predição dos valores genotípicos de progênie, assumindo sobrevivência completa. SEP= desvio padrão do valor genotípico predito de progênie, assumindo sobrevivência completa. Beta= coeficiente de regressão associado à covariável. Média Cov= Média da covariável. Os valores com o símbolo ** e * representam estatisticamente os valores onde não foram encontradas diferenças significativas a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente.

Nos três locais do estudo as correlações de ordenamento foram elevadas e superiores a 0,85 com 1% de significância, permitindo inferir que para o ordenamento geral dos genitores a seleção precoce foi muito eficiente em todos os locais. As três testemunhas de polinização aberta utilizadas no estudo foram estatisticamente iguais com exceção de Campo do Tenente na idade precoce, onde a testemunha com sementes de Área de Produção de Sementes (72) do município de Itapeva, São

Paulo, apresentou menor crescimento (TABELA 3.4). Desta forma, na idade de rotação todas as sementes de polinização aberta utilizadas como testemunha apresentaram igualdade estatística mediante o rigor estatístico utilizado. Analisando os dez melhores genitores, foi possível observar que sete, seis e cinco dos dez melhores foram coincidentes em Campo do Tenente, Morungava e Mocambo, respectivamente.

TABELA 3.4: VALORES GENÉTICOS ADITIVOS DAS PROGÊNIES NAS IDADES DE 8 E 15 ANOS E AS RESPECTIVAS CORRELAÇÕES DE *SPEARMAN* PARA CADA LOCAL. ESTÃO APRESENTADOS TAMBÉM AS PROGÊNIES QUE APRESENTARAM VALORES GENÉTICO ADITIVO ESTATISTICAMENTE SUPERIOR AO VALOR DA MELHOR TESTEMUNHA DE POLINIZAÇÃO ABERTA (TRATAMENTOS 71 A 73). OS VALORES GENÉTICOS ADITIVOS REFORÇADOS EM CINZA REPRESENTAM OS 10 MAIORES VALORES PARA CADA IDADE E LOCAL.

Progênes (1 a 70)	CAMPO DO TENENTE				MORUNGAVA				MOCAMBO			
	8 anos		15 anos		8 anos		15 anos		8 anos		15 anos	
	Spearman		0,87 **		Spearman		0,82 **		Spearman		0,85 **	
	SEP	0,4179	SEP	0,5373	SEP	0,4534	SEP	0,5297	SEP	0,3041	SEP	0,3721
Testemunhas (71 a 74)	IC 5%	0,8191	IC 5%	1,0532	IC 5%	0,8887	IC 5%	1,0382	IC 5%	0,5961	IC 5%	0,7294
	Vga	>test	Vga	>test	Vga	>test	Vga	>test	Vga	>test	Vga	>test
1	20,1		24,7		21,8		23,4		16,3		19,6	
2	21,0	x	26,4		21,5		23,3		16,8		19,6	
3	19,2		23,8		21,0		21,9		16,2		19,0	
4	20,0		24,7		21,2		23,6		15,8		19,3	
5	19,9		25,4		21,2		24,6		15,3		19,1	
6	23,0	x	27,8	x	22,3		24,4		17,0		20,3	
7	21,3	x	26,4		21,8		23,6		16,3		19,3	
8	17,9		22,5		20,8		21,7		14,7		17,6	
9	17,8		23,0		21,0		22,6		16,5		19,9	
10	22,2	x	27,6	x	22,1		25,4	x	16,7		19,4	
11	20,3		25,6		21,3		22,9		16,1		19,4	
12	19,6		24,9		21,6		24,7		16,1		19,4	
13	22,4	x	27,1	x	21,9		23,6		16,2		19,4	
14	19,3		25,1		20,9		22,2		16,1		18,7	
15	20,2		26,5		21,7		23,7		16,0		20,0	
16	21,5	x	27,1	x	21,6		24,6		15,3		18,4	
17	21,2	x	25,7		22,5		25,2	x	16,3		19,7	
18	22,9	x	27,7	x	21,8		24,3		16,8		20,2	
19	20,4		26,4		21,3		24,0		16,1		19,1	
20					21,9		24,1		15,7		18,9	
21	18,6		24,1		21,6		23,8		16,4		20,0	
22	23,4	x	29,7	x	22,6		26,2	x	17,3		20,6	
23	20,9	x	25,9		21,2		23,4		15,8		18,6	
24	21,5	x	26,1		22,0		25,0		15,8		18,6	
25	22,1	x	27,7	x	22,4		26,4	x	17,2		20,9	

continuação

TABELA 3.4: VALORES GENÉTICOS ADITIVOS DAS PROGÊNIAS NAS IDADES DE 8 E 15 ANOS E AS RESPECTIVAS CORRELAÇÕES DE *SPEARMAN* PARA CADA LOCAL. ESTÃO APRESENTADOS TAMBÉM AS PROGÊNIAS QUE APRESENTARAM VALORES GENÉTICO ADITIVO ESTATISTICAMENTE SUPERIOR AO VALOR DA MELHOR TESTEMUNHA DE POLINIZAÇÃO ABERTA (TRATAMENTOS 71 A 73). OS VALORES GENÉTICOS ADITIVOS REFORÇADOS EM CINZA REPRESENTAM OS 10 MAIORES VALORES PARA CADA IDADE E LOCAL.

Progênes (1 a 70)	CAMPO DO TENENTE				MORUNGAVA				MOCAMBO			
	8 anos		15 anos		8 anos		15 anos		8 anos		15 anos	
	Spearman		0,87 **		Spearman		0,82 **		Spearman		0,85 **	
	SEP	0,4179	SEP	0,5373	SEP	0,4534	SEP	0,5297	SEP	0,3041	SEP	0,3721
Testemunhas (71 a 74)	IC 5%	0,8191	IC 5%	1,0532	IC 5%	0,8887	IC 5%	1,0382	IC 5%	0,5961	IC 5%	0,7294
	Vga	>test	Vga	>test	Vga	>test	Vga	>test	Vga	>test	Vga	>test
	SEP	0,4179	SEP	0,5373	SEP	0,4534	SEP	0,5297	SEP	0,3041	SEP	0,3721
	SEP	0,4179	SEP	0,5373	SEP	0,4534	SEP	0,5297	SEP	0,3041	SEP	0,3721
67	18,6		25,3		20,7		22,7		16,3		19,8	
68					20,9		22,4		15,8		19,4	
69	20,7		25,6		21,7		25,2	x	16,5		20,0	
70	22,4	x	26,7		22,5		25,2	x	16,7		20,2	
71	19,1		24,8		20,8		22,2		15,4		18,6	
72	17,0		23,7		21,1		23,0		15,8		18,6	
73	18,4		24,6		21,0		22,0		16,6		20,0	
74	19,6		24,7		22,7		25,0		15,2		18,7	
No. de PA testadas	60		60		66		66		66		66	
No. de PA aprovadas		29		14		0		10		0		0

Ainda na TABELA 3.4 observa-se que para Campo do Tenente foi possível selecionar um maior número de progênes com superioridade estatística em relação a melhor testemunha de polinização aberta, sendo 29 progênes na idade de oito anos e 14 progênes na idade de quinze anos. Este decréscimo no número de progênes entre as idades avaliadas nos permite inferir que é necessária precaução na seleção em idades precoces, pois 15 progênes de meios-irmãos se tornaram iguais à testemunha mediante o aumento de idade do ensaio. Este comportamento do elevado número de progênes e também no decréscimo de progênes aprovados foi exclusivo de Campo do Tenente, possivelmente devido que a seleção das matrizes foi realizada neste local, e a procedência das sementes destas matrizes seja o município de Três Barras, estado de Santa Catarina, com fitogeografia e clima muito similares a Campo do Tenente. Para o ensaio de Morungava o comportamento do número de progênes aprovados foi o contrário de Campo do Tenente, onde aos oito anos nenhum genitor apresentou progênes de meios-irmãos superiores a testemunha, porém na idade de quinze anos dez genitores conseguiram se

diferenciar com crescimento estatisticamente superior. No ensaio Mocambo, devido ao ambiente distinto dos demais ensaios, e também ambiente distinto do histórico da origem das matrizes, nenhuma progênie se apresentou maior que a testemunha para ambas as idades. Para este ambiente com fitogeografia Cerrado e clima Cfa não é recomendado as progênies desta população genética avaliada sendo necessária avaliação de novos germoplasmas. Na FIGURA 3.2 são apresentados os valores genéticos aditivos de todos os tratamentos para todos os locais com maior detalhe, pois são apresentados os intervalos de confiança de todos os tratamentos, complementando a análise e discussão da TABELA 3.4.

Os resultados das correlações lineares foram similares com as correlações de ordenamento, tendo Campo do Tenente apresentando correlação linear de *Pearson* de 0,87 e, conforme já citado, também 0,87 para correlação de *Spearman*, ambas as correlações com 1% de significância. Os resultados para Morungava também foram exatamente os mesmos com 0,82 em ambas as correlações, e o ensaio da Mocambo com 0,86 e 0,85 para correlação linear e de ordem respectivamente, sendo para todas as correlações encontrado também 1% de significância (FIGURA 3.3).

Pesquisadores como Gwaze *et al.* (2001) também comprovaram a eficiência da seleção precoce em relação a seleção tardia para os parâmetros genéticos de diâmetro a altura do peito, altura e densidade da madeira. Analisaram quatro ensaios genéticos de *Pinus taeda* L. localizados no estado de Arkansas, avaliados nas idades de 5, 10, 15, 20 e 25 anos. Os pesquisadores concluíram que a seleção nas idades jovens foi eficiente e a correlação genética entre as idades para o diâmetro a altura do peito foi maior que 0,89 entre as idades de 10 a 20 anos, permitindo recomendações genéticas, com excelente acurácia, com uma década de antecedência.

Outro estudo sob o tema de idade ótima de seleção precoce de *Pinus taeda* L. foi conduzido por (GWAZE *et al.*, 1997) com quatro ensaios genéticos implantados em Zimbabwe. Os ensaios foram avaliados nas idades de 1,5, 9,5, 13,5 e 22,5 anos e, para a variável altura total, concluíram que a correlação genética entre as idades foi de 0,76 a 0,97, sendo a correlação genética sempre melhor que a correlação fenotípica. Os pesquisadores concluíram também que, assumindo a floração do ensaio aos dez anos de idades, nesta idade o ganho anual da seleção precoce compensa esta estratégia de acelerar a recomendação.

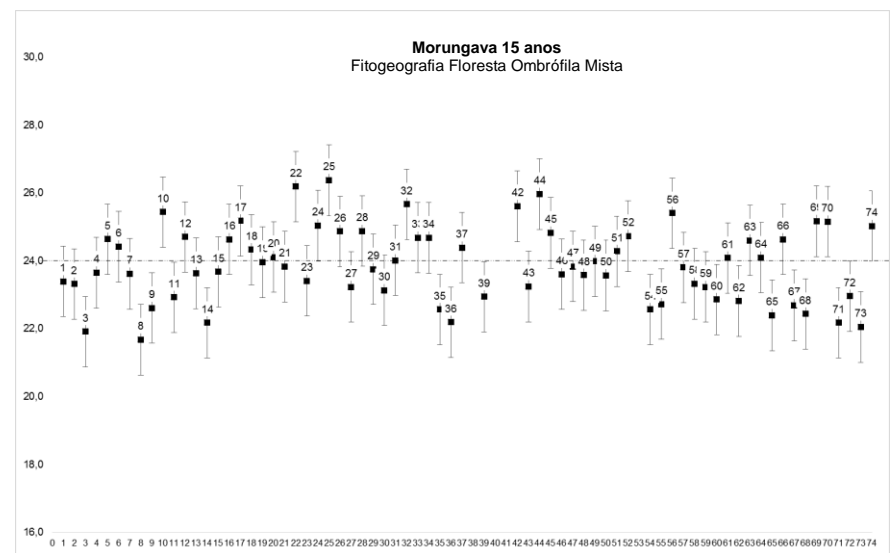
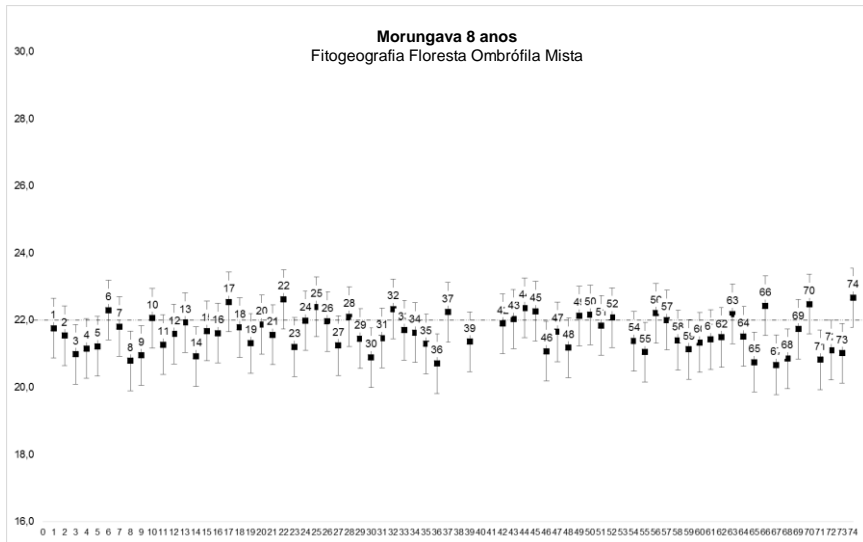
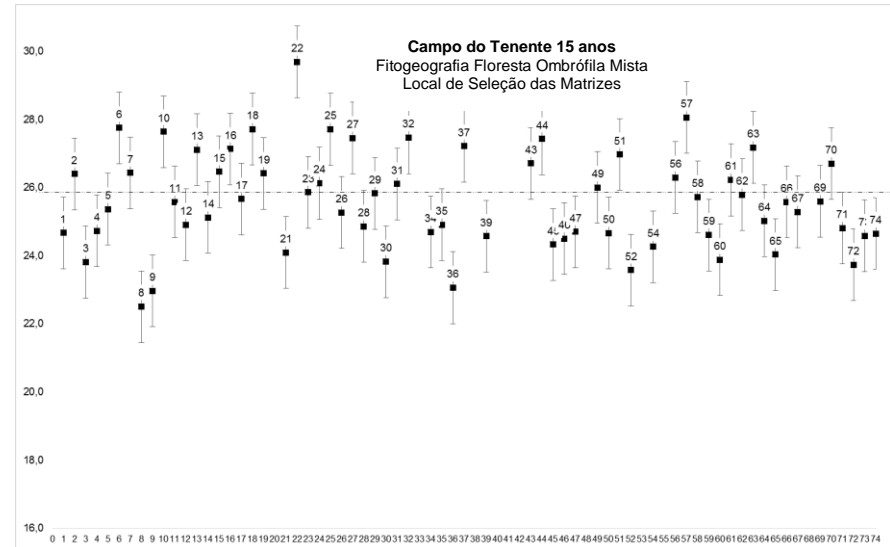
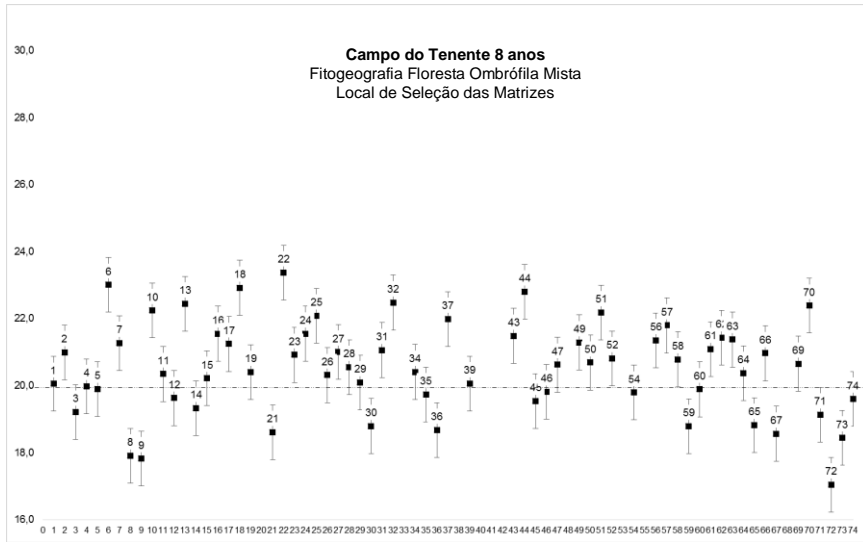
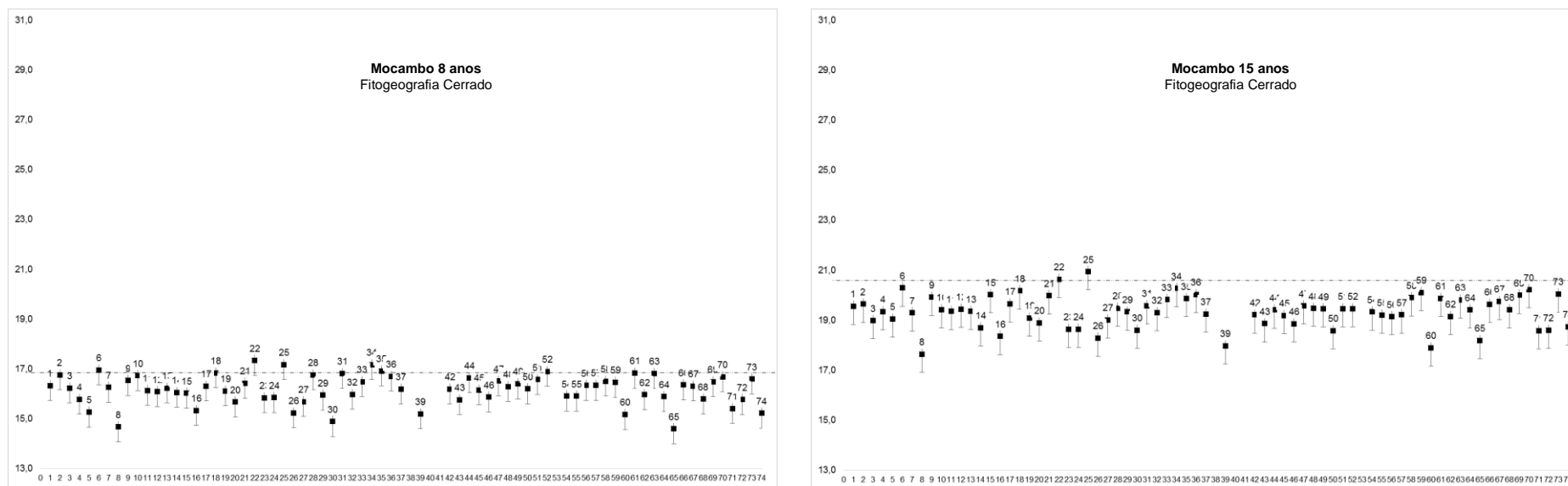


FIGURA 3.2: Valores genéticos aditivos das progênies e testemunhas para todos os locais nas idades de 8 e 15 anos com o intervalo de confiança a 5%, onde o local Campo do Tenente foi o local de seleção das matrizes e está localizado na mesma fitogeografia de Morungava. O tracejado representa o limite superior da melhor testemunha de polinização aberta em cada local.



CONTINUAÇÃO FIGURA 3.2: Valores genéticos aditivos das progênies e testemunhas para todos os locais nas idades de 8 e 15 anos com o intervalo de confiança a 5%, onde o local Campo do Tenente foi o local de seleção das matrizes e está localizado na mesma fitogeografia de Morungava. O tracejado representa o limite superior da melhor testemunha de polinização aberta em cada local.

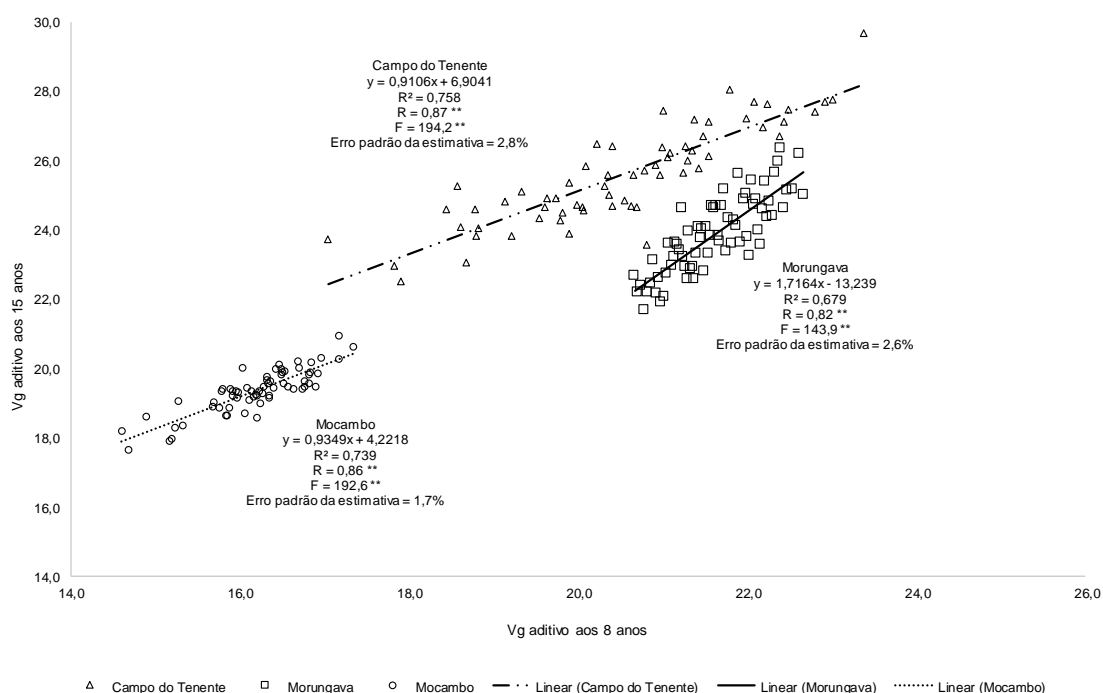


FIGURA 3.3: Regressões lineares e estatísticas relacionadas, bem como as correlações de *Pearson* dos valores genéticos aditivos em Campo do Tenente, Morungava e Mocambo entre as idades de 8 e 15 anos para cada local.

Na FIGURA 3.4 estão apresentados os valores do ganho genético em DAP e eficiência da seleção na idade de quinze anos com a seleção nesta idade final (seleção tardia) e com a seleção na idade de oito anos (seleção precoce), para os três locais, com a seleção dos genitores testados e aprovados estatisticamente, com número máximo de genitores igual a dez. Foi possível observar que apenas em Campo do Tenente o ganho com a seleção precoce foi superior à melhor testemunha de polinização aberta mediante o rigor estatístico utilizado, pois apenas um genitor selecionado de forma precoce apresentou mesmo crescimento que a testemunha na idade de quinze anos. Desta forma, para Campo do Tenente, onde temos a seleção das matrizes e avaliação das progênie no mesmo ambiente os resultados concordam Paludzyszyn Filho *et al.* (2002) que analisaram a seleção genética de *Pinus taeda* L. em duas idades distintas em ensaios genéticos implantados no estado do Paraná, concluindo que os ganhos genéticos aditivos preditos foram similares para as duas idades estudadas, revelando alto potencial para a seleção precoce, e, conforme citado na introdução deste estudo, aguardar a idade tardia de seleção não supera o benefício de se obter oferta antecipada de sementes com a seleção precoce dos genitores do pomar clonal.

O pomar clonal de segunda geração poderá trazer ganhos genéticos comprovados para os ambientes de Campo do Tenente e Morungava, porem nenhum ganho genético para o ensaio Mocambo pela peculiaridade já citada anteriormente (FIGURA 3.5). Para os locais Campo do Tenente e Morungava, a nova média para os três cenários de seleção precoce foram iguais estatisticamente porém apresentaram grande diferença no tamanho efetivo populacional. Era esperado que a restrição de três indivíduos por família evitaria redução drástica no tamanho efetivo, porém, outra vantagem foi observada, pois não houve perdas na nova média com a adoção desta restrição, ou seja, altamente recomendável. Como a média foi estatisticamente similar nos três cenários, não é recomendável desbastar o pomar com a retirada dos indivíduos não selecionados na idade final de rotação, sendo recomendável selecionar os trinta melhores indivíduos com a restrição de três indivíduos por família e permanecer com os mesmos trinta indivíduos, pois isto levou um aumento no tamanho efetivo populacional da ordem de 3 progênes. Se fosse desbastado o pomar com base nos indivíduos selecionados na idade final de rotação, em Campo do Tenente teríamos a exclusão de seis indivíduos ($n=24$) e Morungava a exclusão de oito indivíduos ($n=22$), reduzindo o tamanho efetivo de 22,4 ($n=30$), valor igual em ambos os dois locais, para 19,4 e 18,9 em Campo do Tenente e Morungava respectivamente.

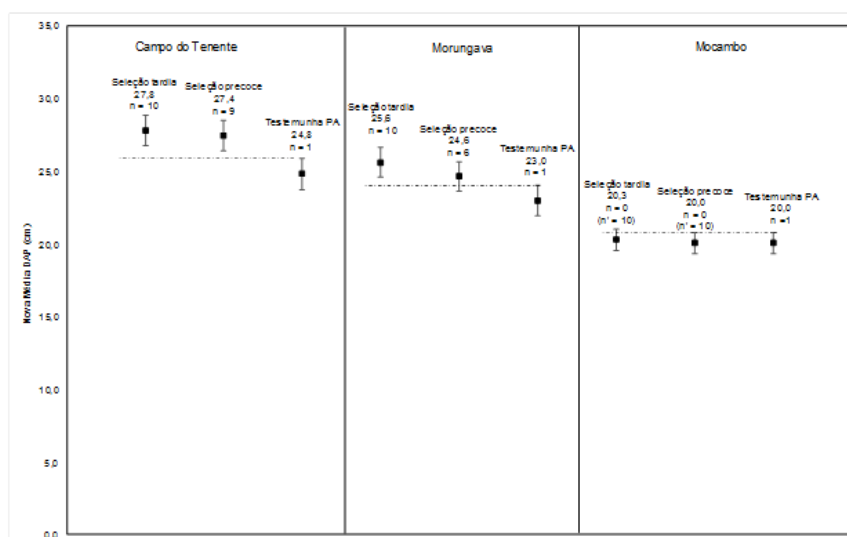


FIGURA 3.4: Valores do ganho genético dos genitores em DAP (cm) aos 15 anos com a seleção na idade de rotação (seleção tardia) e com a seleção na idade de 8 anos (seleção precoce), para os três locais, com a seleção dos genitores testados e aprovados estatisticamente, com n máximo igual a 10. O n' representa a quantidade de genitores utilizados para a média quando nenhum genitor foi aprovado estatisticamente. O traçado representa o limite superior da melhor testemunha de polinização aberta em cada local.

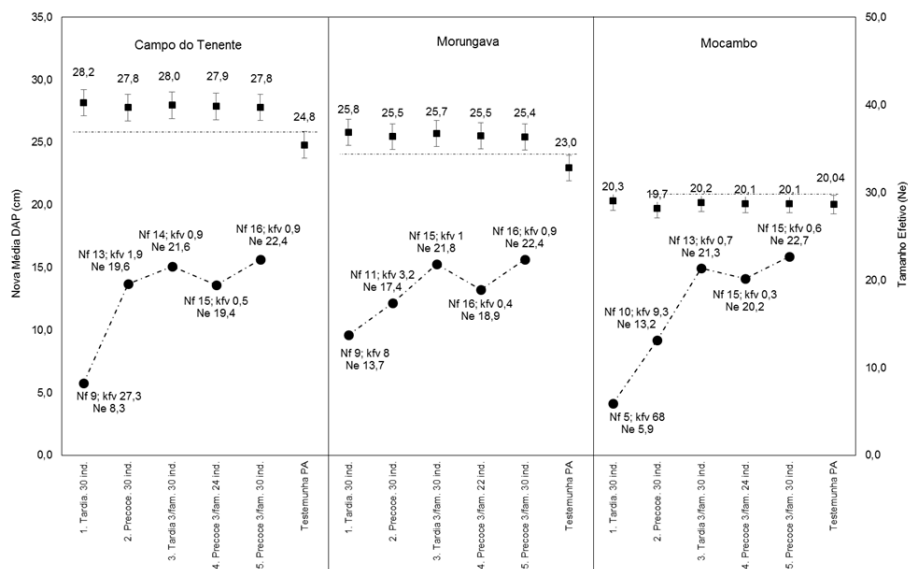


FIGURA 3.5: Valores do ganho genético dos genitores em DAP (cm) aos 15 anos com a seleção na idade de rotação (seleção tardia) e com a seleção na idade de 8 anos (seleção precoce), para os três locais, com a seleção dos melhores indivíduos com e sem restrição de número de indivíduos por família. Estão apresentados também os valores referentes ao tamanho efetivo populacional (Ne) com número de famílias (Nf) e a variância do número de indivíduos por família (kv). O tracejado representa o limite superior da melhor testemunha de polinização aberta em cada local.

3.4 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos pode-se concluir que:

- A seleção precoce dos dez melhores genitores selecionados de forma precoce foi eficaz apenas onde a seleção das matrizes e avaliação da progênie ocorreram no mesmo ambiente.
- A seleção precoce de indivíduos foi eficaz para os dois ambientes com mesmo clima e fitogeografia do local de seleção das matrizes, sendo recomendável a utilização da restrição de número de indivíduos máximo por família para evitar redução drástica no tamanho efetivo populacional.
- No ambiente com fitogeografia Cerrado não foi possível a seleção dos genitores e a seleção de indivíduos. Para este ambiente torna-se necessário a avaliação de novos germoplasmas.

REFERÊNCIAS

ABRAF. **Anuário estatístico da ABRAF 2012 ano base 2011**. 150 p. Brasília, DF, 2012.

BALOCCHI, C. E.; BRIDGWATER, F. E.; ZOBEL, B. J.; JAHROMI, S. Age Trends in Genetic Parameters for Tree Height in a Nonselected Population of Loblolly Pine. **Forest Science**. Vol. 39, n. 2, pp. 231-251, 1993.

CPRM. **Atlas Pluviométrico do Brasil**. <http://www.cprm.gov.br>. Isoetas Anuais. Edição 2006.

CUMMING, G.; FIDLER, F.; VAUX, D. L. Error bars in experimental biology. **Journal of Cell Biology**. Vol. 177, no. 1, April 9, pp. 7-11, 2007.

DUDA, L. L. **Seleção Genética de Árvores de *Pinus taeda* L. na Região de Arapoti, Paraná**. p. 61. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3ª. Edição revista e ampliada. Brasília, DF: Embrapa. p. 353, 2013.

FOSTER, G. S. Trends in Genetic Parameters with Stand Development and Their Influence on Early Selection for Volume Growth in Loblolly Pine. **Forest Science**. Vol. 32, n 4, p. 944-959, 1986.

GWAZE, D. P.; WOOLLIAMS, J. A.; KANOWSKI, P. J. Optimum Selection Age for Height in *Pinus taeda* L. in Zimbabwe. **Silvae genetica**. Vol. 46, n.6. p. 358-365, 1997.

GWAZE, D. P.; BRIDGWATER, F. E.; BYRAM, T. D.; LOWE, W. J. Genetic Parameter Estimates for Growth and Wood Density in Loblolly Pine (*Pinus taeda* L.). **Forest Genetics**. Vol. 8, n.1, p.47-55, 2001.

IBÁ. **Anuário estatístico do Instituto Brasileiro de Árvores IBÁ 2015 ano base 2014**. <http://www.iba.org>. Brasília, DF: p. 64, 2015.

LAMBETH, C. C.; VAN BUIJTENEN, J. P.; DUKE, S. D. Early Selection is effective in 20-year-old Genetic Tests of Loblolly pine. **Silvae Genetica**. Vol.32, p. 210-215, 1983.

MAACK, R. **Geografia Física do Estado do Paraná**. 3ª. ed. Curitiba: Imprensa Oficial. P.440, 2002.

MARTINEZ, D. T.; RESENDE, M. D. V.; COSTA, R. B.; HIGA, A. R.; SANTOS, G. A.; FIER, I. S. N. Estudo da Interação Genótipo x Ambiente em Progenies de *Pinus taeda* por meio da Análise de Parâmetros Genéticos. **Revista Floresta**. Curitiba, PR. Vol. 42, n.3, p. 539 – 552, 2012.

MCKEAND, S. E. Optimum Age For Family Selection for Growth in Genetic Tests of Loblolly Pine. **Forest Science**. Vol. 34, n. 2, p. 400-411, 1998.

MINEROPAR. **Mapa Geológico do Paraná**. Governo do Estado do Paraná. <http://www.mineropar.pr.gov.br>. Edição 2006.

PALUDZYSZYN FILHO, E.; FERNANDES, J. S. C.; RESENDE, M. D. V. Avaliação e Seleção Precoce para crescimento de *Pinus taeda*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília. Vol. 37, n. 12, p. 1719-1726, 2002.

PIRES, I. E.; RESENDE, M. D. V.; SILVA, R. L.; RESENDE JR., M. F. R. **Genética Florestal**. Viçosa. P.318, 2011.

RESENDE, M. D. V. Melhor Predição Linear Não Viciada (BLUP) de Valores Genéticos no Melhoramento de *Pinus*. **Boletim Pesquisa Florestal**. Colombo, n. 32/33, p. 3-22 jan./dez. 1996a.

RESENDE, M. D. V. Estimacão de Componentes de Variância e Predico de Valores Genéticos pelo Método de Máxima Verossimilhança Restrita (REML) e Melhor Predico Linear Não Viciada (BLUP). **Boletim Pesquisa Florestal**. Colombo. N. 32/33, p. 23-42, 1996b.

RESENDE, M.D.V. **Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes**. Brasília: Embrapa Informaco Tecnológica. P. 975, 2002.

RESENDE, M. D. V. **Selegen-Reml/Blup: Sistema Estatístico e Seleo Genética Computadorizada via Modelos Lineares Mistos**. Colombo: Embrapa Florestas, p. 360, 2007.

CAPITULO II

EFEITO DA INTERAÇÃO GENÓTIPO-AMBIENTE NO MELHORAMENTO DE *Pinus taeda* L.

4 EFEITO DA INTERAÇÃO GENÓTIPO-AMBIENTE NO MELHORAMENTO DE *Pinus taeda* L.

Rodrigo T. Coutinho¹; João Carlos Bessalho² Filho; Caroline Frizzo³; Roberto Fritsche Neto⁴

¹ Mestrando do Programa de Pós-graduação em Agronomia - Produção Vegetal, PGAPV, UFPR, e-mail: tehudi@gmail.com. ² Orientador, Departamento de

Fitotecnia e Fitossanitarismo, UFPR, Curitiba, PR, e-mail: bespa@ufpr.br.

³Doutoranda do Programa de Pós-graduação em Agronomia - Produção Vegetal, PGAPV, UFPR, e-mail: carolinefrizzo@hotmail.com ⁴Co-orientador,

Departamento de Genética, ESALQ/USP, Piracicaba, SP, e-mail: roberto.neto@usp.br.

Autor para correspondência: Rodrigo T. Coutinho, e-mail: tehudi@gmail.com.

RESUMO

A seleção dos genótipos superiores de *Pinus taeda* L. por meio de ensaios genéticos de campo requerem vários anos de duração e a avaliação em vários locais, o que consome muitos recursos financeiros. Por isto, a interação genótipo-ambiente deve ser analisada para implantar apenas o número de ensaios necessários, pois muitas vezes grandes extensões de áreas permitem serem avaliadas com apenas um ensaio genético devido à ausência desta interação. Os objetivos deste trabalho foram estimar os efeitos da interação genótipo-ambiente de progênies de meios-irmãos de *Pinus taeda* L. Para isto, foram avaliados, em idade precoce de oito anos e em idade final de rotação aos quinze anos, ensaios implantados em quatro locais distintos, representado três fitogeografias distintas do estado do Paraná. Na idade de quinze anos em todos os locais analisados aos pares, as progênies de polinização aberta desta população apresentaram interação genótipo-ambiente não permitindo predizer os valores genéticos aditivos para qualquer combinação de dois locais em um único modelo, mesmo nos dois locais com alta correlação genotípica entre progênies. Os dois locais implantados no mesmo clima e fitogeografia onde foram selecionadas as matrizes não apresentaram interação genótipo-ambiente em idade precoce podendo levar o melhorista conduzir de forma equivocada o programa de melhoramento em apenas um destes locais. Os locais com fitogeografia do tipo Campo e Cerrado, Jaguariaíva e Mocambo, respectivamente, ambos com clima diferente do local de seleção das matrizes, não são recomendados para o plantio desta população avaliada, sendo necessária incorporação e avaliação de novas germoplasmas para estes ambientes.

Palavras-chave: Modelos Mistos; Predição Genética; Melhoramento; Progênies.

ABSTRACT

The selection of *Pinus taeda* L. superior genotypes through field trials require many years and consume a great amount of financial resources. Regarding this, the genotype-environment interaction must be analyzed to implement only the necessary amount of field trials, since many times in the forestry improvement large area extensions can be analyzed with only one genetic trial due to the absence of this interaction. The objectives of this study are to estimate the genetic parameters and the genotype-environment interaction of *Pinus taeda* L. half-sib family at early age (eight years) and final age of rotation (fifteen years), established in four different locations, representing three distinct phytogeography regions of Paraná state. At fifteen years old in all paired analyzed locations, the open pollination progenies from this population showed genotype-environment interaction, thus disallowing the prediction of genetic gain for any combination of two locations in a single model, even in the two locations with very high genotypic correlation between progenies. The two locations established under the same climate and phytogeography where the seed trees were selected did not showed genotype-environment at early age, possibly misleading the decision making of conducting the genetic improvement program at only one of those locations. The locations with Campo (meadow, grassland) and Cerrado (savanna) phytogeography, Jaguariaíva e Mocambo, respectively, both with different climate from the location of the seed trees, are not recommended for the establishment of the evaluated population, being necessary the incorporation and evaluation of new germplasm for this environments.

Keywords: Mixed Models; Genetic Prediction; Improvement; Progenies;

4.1 INTRODUÇÃO

O melhorista atua na predição do valor genético dos indivíduos e na decisão sobre a melhor forma de utilização dos indivíduos com os maiores valores genéticos preditos, seja para o uso em plantios comerciais ou para realização de novos cruzamentos (RESENDE, 2002). Todo e qualquer programa de melhoramento genético enfrenta o desafio de recomendar estes genótipos superiores para vários tipos de ambientes e locais, devido às grandes extensões de superfície utilizado nos plantios comerciais. A seleção dos genótipos superiores de *Pinus taeda* L. por meio de ensaios genéticos de campo requerem vários anos de duração e consomem muitos recursos financeiros. Por isto, todo melhorista deve analisar a interação genótipo-ambiente para implantar o número de ensaios necessário para a otimização dos recursos disponível, pois muitas vezes no melhoramento florestal grandes extensões de áreas permitem serem avaliadas com apenas um ensaio genético devido à ausência desta interação (PIRES *et al.*, 2011).

Esta interação pode ser entendida como a alteração no desempenho relativo dos genótipos, em virtude de diferenças de ambiente, ou, a resposta diferenciada dos genótipos quando submetidos a diferentes condições ambientais (BOREM, 1997). O desempenho de um genótipo em relação a outro pode variar de acordo com o ambiente, de forma que genótipos que são superiores em um ambiente podem não ser em outro. Quanto maior a diversidade genética entre os genótipos e entre os ambientes, de maior importância será a interação genótipo-ambiente, levando o melhorista a adotar, ou não, as “zonas de melhoramento” para minimizar os efeitos desta interação e maximizar os ganhos genéticos em cada local (PIRES *et al.*, 2011).

Paludzyszyn Filho *et al.* (2001) analisaram a interação genótipo-ambiente de *Pinus taeda* L. em três ensaios implantados no estado do Paraná e um ensaio no estado de São Paulo. Os autores analisaram os ensaios em idade precoce de seis anos, e concluíram haver interação genótipo-ambiente apresentando o cálculo da significância da interação no modelo estatístico utilizado. Os autores não citaram a fitogeografia nos quais os ensaios foram implantados porem até mesmo nos ensaios mais próximos localizados nos municípios de Sengés e Jaguariaíva a interação foi

significativa, possivelmente por experiência do autor e segundo Maack (2002), estes dois municípios estarem recortados por áreas de Campo e Cerrado.

Outro estudo de interação genótipo-ambiente com *Pinus taeda* L realizado no Paraná foi conduzido por Duda (2003) com análise de três ensaios sendo dois ensaios localizados no município de Arapoti e um ensaio localizado no município vizinho chamando Jaguariaíva. O autor concluiu que a interação genótipo-ambiente não foi significativa devido à alta correlação genética entre os locais, porém sem análise da significância da interação. O autor verificou que a correlação genética entre os locais foi de alta magnitude superior a 0,8, porém também os ensaios foram avaliados em idades precoces de seis a sete anos. Ferreira (2005) também realizou um estudo de seleção de *Pinus taeda* L com progênies de polinização controlada em quatro ensaios implantados nos municípios de Três Barras, Mafra, São João do Triunfo e Canoinhas, todos no estado de Santa Catarina, próximos à divisa com o estado do Paraná, e sob enfoque de interação genótipo-ambiente concluiu que três dos quatro locais apresentaram correlações genéticas elevadas refletindo as condições edafo-climáticas equivalente entre estes sítios. Foi possível identificar superiores e com performance estável em todos os locais.

Conforme necessidade e contexto exposto acima, os objetivos principais deste trabalho foram determinar se existe interação genótipo-ambiente em progênies de meios-irmãos de *Pinus taeda* L. implantadas em quatro locais representando três fitogeografias distintas, e suas implicações na estratégia de melhoramento genético.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

Os ensaios genéticos foram implantados com progênies de meios-irmãos de *Pinus taeda* L., de 70 matrizes selecionados em plantios comerciais com cinco anos de idade com critério de seleção baseados em volume e sanidade. Esta seleção das matrizes foi realizada em Campo do Tenente no ano de 1994 com intensidade de seleção de aproximadamente 1 matriz para cada 6.143 árvores candidatas. A procedência das sementes que formaram as mudas deste plantio comercial, onde se realizou esta seleção, foi o pomar clonal de primeira geração de uma empresa florestal sediada em Três Barras, estado de Santa Catarina. Muito provável que este pomar clonal de primeira geração foi formado com seleção de matrizes em plantios

comerciais localizados na região de Três Barras, Santa Catarina, e que a origem genética do plantio destas matrizes seja os estados americanos de Carolina do Sul, Carolina do Norte e Geórgia. A localização das seleções e ensaios estão apresentados na FIGURA 4.1.

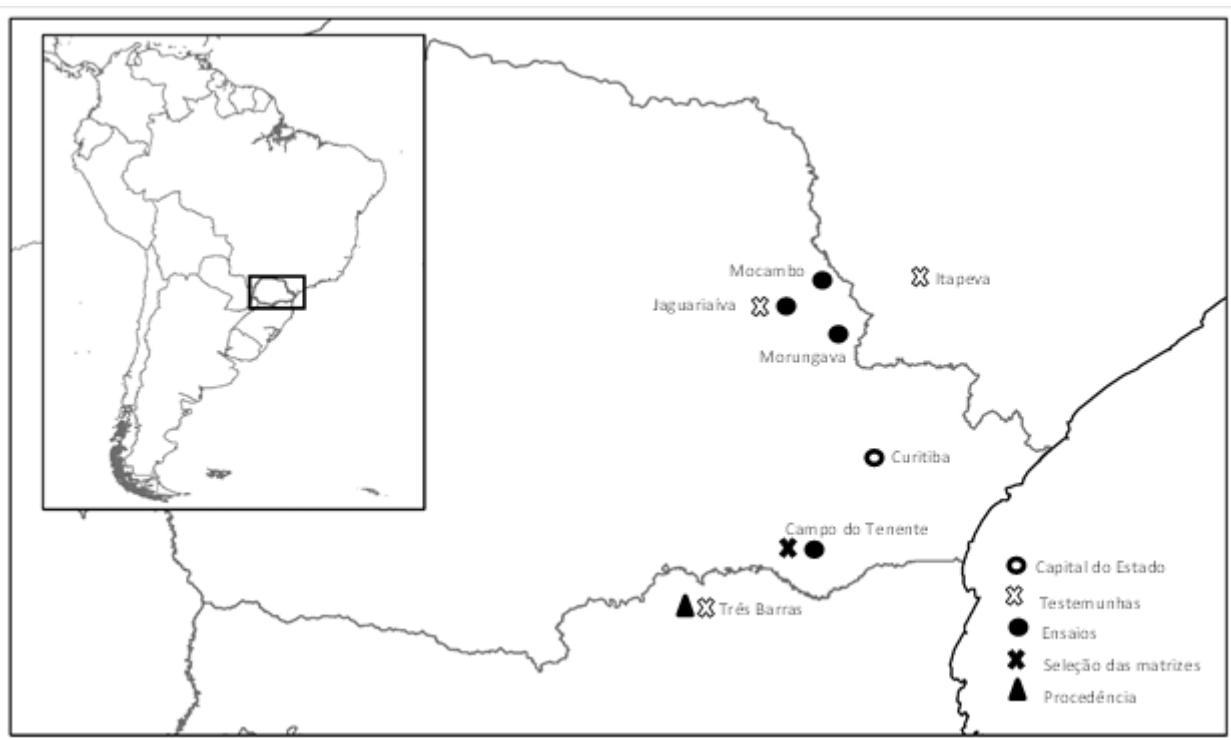


FIGURA 4.1: mapa de localização dos ensaios implantados em Campo do Tenente, Morungava, Mocambo e Jaguariaíva, com o local da procedência das matrizes no município de Três Barras, localização da seleção fenotípica das matrizes que geraram as progênes meios-irmãos em Campo do Tenente, e localização das testemunhas utilizadas.

Após a seleção de 1994 das 70 matrizes com cinco anos de idade se iniciou a coleta das sementes no mesmo local onde as matrizes foram selecionadas, até que no ano de 1997 se alcançou sementes que possibilitaram a implantação dos quatro ensaios de progênes de polinização aberta. Não foi possível a implantação das 70 progênes de meios-irmãos em todos os locais, devido à baixa oferta de sementes e o delineamento estatístico adotado, e desta forma os ensaios localizados em Campo do Tenente, Morungava, Mocambo e Jaguariaíva foram implantados com respectivamente 60, 66, 66 e 55 progênes cada. Adicionalmente, em todos os ensaios foram implantadas quatro testemunhas de sementes botânicas sendo: (i) sementes de polinização aberta do pomar clonal da empresa localizada no município de Três Barras, apresentada com o código 71 nos resultados (ii)

sementes de polinização aberta de uma área de produção de sementes localizada no município de Itapeva, estado de São Paulo, apresentada com o código 72 (iii) sementes de polinização aberta de um pomar clonal de sementes localizado no município de Jaguariaíva com código 73 e (iv) sementes de polinização controlada deste último pomar clonal de sementes do município de Jaguariaíva com código 74.

Os ensaios foram implantados com parcelas lineares de cinco plantas em blocos ao acaso com oito repetições, totalizando em cada local quarenta plantas por tratamento. O espaçamento utilizado foi de 3,0 m entre linhas e 2,0 m entre plantas, visando manejo sem desbastes e corte raso aos quinze anos. Estes três ensaios implantados em 1998 foram avaliados no ano de 2006 com oito anos de idade e no ano de 2013 com a idade de rotação final de quinze anos. As avaliações foram medição direta do diâmetro a altura do peito (DAP) e estimativa da altura total da árvore (Ht) com hipsômetro. Com estas duas variáveis foi estimado o volume total da árvore com equação polinomial de 5º grau utilizada de forma operacional na empresa proprietária dos ensaios. Estes quatro ensaios implantados em 1998 foram avaliados no ano de 2006 com oito anos de idade e no ano de 2013 com a idade de rotação comercial de quinze anos, com exceção do ensaio de Jaguariaíva que foi cortado antes da medição final. Desta forma, para o ambiente Jaguariaíva foi possível apenas as análises de interação com oito anos de idade.

O teste no município de Campo do Tenente está localizado a 870m de altitude com solo do tipo Cambissolo húmico ta alumínico típico textura argilosa com profundidade 120 cm+ conforme classificação brasileira de solos (EMBRAPA, 2013). A geologia de origem deste solo é o Grupo Itararé, porém com sedimentos do tipo folhelhos (MINEROPAR, 2016). O clima segundo Koeppen é Cfb, ou seja, sempre úmido, apresentando nos três meses mais frios com temperatura média do ar entre três graus negativos a dezoito graus positivos, e também com o mês mais quente com temperatura média do ar menor que 22°C, e demais onze meses com temperatura média do ar maior que 10°C, e este ensaio está localizado na fitogeografia Floresta Ombrófila Mista que também é conhecido como Mata de Araucárias (MAACK, 2002). Ainda segundo este último autor temos mais de cinco geadas noturnas por ano e raramente neve. A precipitação média anual com série histórica de 1977 a 2006 para este ensaio é de 1.500 a 1.600 mm (CPRM, 2006).

O teste Morungava localizado no município Sengés está a 970 m de altitude com solo Cambissolo húmico tb distrófico típico textura argilosa cascalhenta com profundidade 120cm+ conforme classificação brasileira de solos (EMBRAPA, 2013). A geologia de origem deste solo é o Grupo Itaiaoca, porém com sedimentos de rochas metamórficas (MINEROPAR, 2016). O clima e fitogeografia são os mesmos de Campo do Tenente, ou seja, conforme descrito anteriormente, porém a precipitação média anual para este ensaio é de 1.300 a 1.400 mm (CPRM, 2006), ou seja, no mínimo 100 mm menor que a precipitação de Campo do Tenente.

O teste Mocambo também se localiza no município de Sengés porém, além de diferenças em relação a Morungava na altitude, geologia e solos, apresenta também clima e fitogeografia muito peculiares. A altitude é a menor entre os demais ensaios com 715 m de altitude e o solo é do tipo Cambissolo háplico tb distrófico típico textura média com profundidade 100 cm conforme classificação brasileira de solos (EMBRAPA, 2013). O Clima é do tipo Cfa, ou seja, clima temperado quente com o mês mais quente com temperatura média do ar maior que 22°. C, e o fitogeografia no local do ensaio é Cerrado que também descrito por Maack (2002) como Campos Cerrados ou estepes arbustivas. Segundo este último autor o município de Sengés localiza-se em meio a estes campos de cerrados. Embora a distância em linha do ensaio localizado na fazenda Morungava e Mocambo ser de aproximadamente 50 km e pertencerem ao mesmo município de Sengés, ambos os ensaios estão em clima, fitogeografia, geologia e solo, e altitude muito distintos, pois nesta região temos a transição do primeiro para o segundo planalto do Paraná e também de um clima típico sub-tropical do clima típico tropical.

O teste no município de Jaguariaíva está localizado na maior altitude com 1.085 m com solo do tipo Cambissolo húmico tb distrófico leptico textura média com profundidade média de 90 cm, conforme classificação brasileira de solos (EMBRAPA, 2013). A geologia de origem deste solo também é de rocha sedimentar porém da Formação Furnas com origem de arenito branco (MINEROPAR, 2016). O clima segundo Koeppen é Cfb, mesmo que Campo do Tenente e Morungava, porém com algumas geadas noturnas e dificilmente temos geada na região (MAACK, 2002). Ainda conforme este último autor e diagnosticado em campo este ensaio está localizado na fitogeografia Campos Limpos ou Estepes de Gramíneas Baixas. A precipitação média anual com série histórica de 1977 a 2006 para este ensaio é de

1.500 a 1.600 mm (CPRM, 2006). No QUADRO 4.1 está apresentado o resumo das condições edafo-climáticas dos testes de progênies.

Local	CAMPO DO TENENTE	MORUNGAVA	MOCAMBO	JAGUARIAÍVA
Município	Campo do Tenente	Sengés		Jaguariaíva
Geologia	Grupo Itararé origem sedimentar folhelhos	Grupo Itaioaca origem metamórfica	Grupo Itararé origem sedimentar arenito	Formação Furnas origem arenito branco
Clima	Cfb Clima temperado		Cfa Clima temperado quente	Cfb Clima temperado
Precipitação	1.500 a 1.600 mm	1.300 a 1.400 mm		1.400 a 1.500 mm
Solo	Cambissolo húmico ta alumínico típico textura argilosa profundidade 120cm+	Cambissolo húmico tb distrófico típico textura argilosa cascalhenta profundidade 120cm+	Cambissolo háplico tb distrófico típico textura média prof. 100cm	Cambissolo húmico tb distrófico leptico textura média prof. 90cm
Altitude	870 m	970 m	715 m	1.085 m
Fitogeografia	Floresta Ombrófila Mista		Cerrado	Campo

QUADRO 4.1: Localização dos testes de progênies de meios-irmãos de *Pinus taeda* L., bem como as condições edafo-climáticas dos locais.

Para aumentar a acurácia e mitigar os efeitos das árvores vizinhas mortas, foi realizado a correção do índice de falhas (IF) segundo Pires *et al.* (2011) calculando o IF de cada árvore e utilizando como covariável nas análises estatísticas. Pelo espaçamento utilizado nos ensaios o IF foi calculado pela equação: $IF = (1,0 \times n^{\circ} \text{ de falhas na vizinhança da Linha de plantio}) + (0,6667 \times n^{\circ} \text{ de falhas na vizinhança na entrelinha ao lado}) + (0,5547 \times n^{\circ} \text{ de falhas na vizinhança na diagonal})$.

Neste trabalho foi utilizado o método estatístico linear de modelo misto por meio de máxima verossimilhança restrita, cuja sigla é REML das iniciais da língua inglesa, e melhor predição linear não viciada, cuja sigla é BLUP das iniciais da língua inglesa, por se tratar da melhor ferramenta estatística para decompor as variâncias e melhor estimar os parâmetros genéticos de experimentos florestais (RESENDE *et al.*, 1996a e 1996b). O modelo estatístico linear misto por meio de REML/BLUP foi utilizado, conforme Resende (2007), com a equação abaixo, onde “**y**” representa o vetor dos dados fenotípicos, “**r**” é o vetor dos efeitos de repetição (assumidos como fixos) somados à média geral, “**a**” é o vetor dos efeitos genéticos aditivos individuais (assumidos como aleatórios), “**p**” é o vetor dos efeitos de parcela (assumidos como

aleatórios), “**i**” representa o vetor dos efeitos da interação genótipo-ambiente (assumidos como aleatórios) e “**e**” representa o vetor de erros ou resíduos (aleatórios). O coeficiente “**β**” refere-se à regressão associada a covariável índice de falhas, e as letras maiúsculas representam as matrizes de incidência para os referidos efeitos.

$$y = Xr + \beta Cov + Za + Wp + Ti + e$$

Os efeitos dos modelos foram testados pelo Teste da Razão de Verossimilhança (LRT), ou seja, pela diferença das deviances dos modelos e teste qui-quadrado com grau de liberdade igual a 1. Para estimar a correlação dos valores genéticos aditivos preditos dos distintos ambientes foi utilizado coeficiente de correlação de *Pearson* e regressão linear com os cálculos da significância da regressão, erro padrão da estimativa e coeficiente de determinação.

Conforme citado anteriormente, o melhor procedimento de estimação é o BLUP para os dados desbalanceados e, conforme Resende (2004), também permite lidar com a heterogeneidade das variâncias quando na análise de distintos locais. Porém este mesmo autor cita como segunda opção utilizar o modelo misto univariado de efeitos principais genotípicos e interação, levando em conta a heterogeneidade das variâncias via transformação prévia dos dados. Neste sentido, a melhor transformação seria a multiplicação dos dados por h_i/h_m , que se referem à raiz quadrada da herdabilidade no ambiente “**i**” e a média das raízes quadradas das herdabilidades em cada ambiente. Esta transformação dos dados pela multiplicação por h_i/h_m foi superior a qualquer transformação baseadas apenas no desvio padrão fenotípico. Pinto Junior e Resende *et al.* (2006) utilizaram a transformação prévia dos dados pela multiplicação por h_i/h_m para o modelo BLUP com efeito da interação genótipo-ambiente. Desta forma, esta transformação dos dados pela multiplicação por h_i/h_m quando nas análises de vários ambientes, foi avaliada comparando os dados não transformados com os dados transformados por meio de gráfico *box plot* e pela normalidade dos dados por meio de gráfico dos quartis das amostras em relação aos quartis teóricos.

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O crescimento médio para a variável volume médio de cada árvore foi similar com 0,57 e 0,51 metros cúbicos sólidos com casca (m^3_{ssc}) em Campo do Tenente e Morungava, respectivamente, por apresentarem mesmo clima e fitogeografia, e foi observado praticamente metade do crescimento para o ensaio Mocambo com 0,26 m^3_{ssc} . A diferença entre Campo do Tenente e Morungava pode ser explicada pela quantidade maior de precipitação média para Campo do Tenente, visto que a ordem do solo e profundidade serem similares. Na idade de oito anos temos o ambiente Jaguariaíva com incremento intermediário entre a fitogeografia Floresta Ombrófila Mista (Campo do Tenente e Morungava) e a fitogeografia Cerrado (Mocambo) com 0,15 m^3_{ssc} (TABELA 4.1).

As correlações fenotípicas para a mesma idade em cada local foram elevadas apenas entre a variável DAP e volume, sendo todas superiores a 0,96. Devido a esta elevada correlação do DAP com o volume estimado se optou por estimar os parâmetros genéticos e realizar os estudos com o DAP, pois se trata de uma medição direta com baixíssimo nível de erro.

Na FIGURA 4.2 são apresentados os gráficos da variância residual, herdabilidade, média DAP (cm) e o fator de transformação aplicado para cada conjunto de dados na idade de oito anos, nas análises de vários locais realizadas dois a dois, visando corrigir possíveis heterogeneidade de variâncias. Para o cálculo do fator de transformação os dados do local da variância residual, herdabilidade, média DAP (cm) foram obtidos nos resultados do capítulo anterior, com exceção de Jaguariaíva onde os resultados na idade de oitos anos estão apresentados na TABELA 4.2. Ainda na FIGURA 4.2 é possível notar que a variância residual apresentou baixa amplitude entre os locais para uma mesma idade, sendo a maior amplitude observada de 4,26 entre Morungava e Mocambo nesta idade de oito anos, porém a herdabilidade apresentou grande amplitude sendo a maior para Campo do Tenente e Mocambo com 0,1629, fazendo que o conjunto de dados de cada local, Campo do Tenente e Mocambo, sofresse uma transformação de 125 e 75%, respectivamente. Como podemos observar os demais conjuntos de dados tiveram sua transformação diretamente relacionada à amplitude da herdabilidade entre os locais.

TABELA 4.1: ESTATÍSTICAS BÁSICAS E CORRELAÇÕES FENOTÍPICAS PARA AS VARIÁVEIS DENTRO DE CADA LOCAL.

ESTATÍSTICAS BÁSICAS																						
Local				Campo do Tenente				Morungava						Mocambo						Jaguaruaíba		
Idade		8 anos		15 anos			8 anos			15 anos			8 anos			15 anos			8 anos			
Variável	DAP	Ht	Vol	DAP	Ht	Vol	DAP	Ht	Vol	DAP	Ht	Vol	DAP	Ht	Vol	DAP	Ht	Vol	DAP	Ht	Vol	
Media	20,5	14,7	0,2291	25,6	24,0	0,5710	20,7	14,5	0,2316	23,9	23,9	0,5086	16,2	11,5	0,1114	19,3	17,6	0,2547	18,1	12,8	0,1548	
Variância	11,7	3,3	0,0067	18,7	1,9	0,0449	13,5	1,6	0,0081	19,2	2,8	0,0438	7,8	1,5	0,0019	13,1	4,0	0,0117	8,6	1,0	0,0030	
Desvio	3,4	1,8	0,0819	4,3	1,4	0,2120	3,7	1,3	0,0897	4,4	1,7	0,2094	2,8	1,2	0,0437	3,6	2,0	0,1081	2,9	1,0	0,0544	
CV %	17,0	12,4	35,8	16,9	5,8	37,2	17,7	8,7	38,7	18,3	7,0	41,2	17,3	10,6	39,3	18,7	11,4	42,5	16,2	7,8	35,1	
Máximo	34,1	27,9	0,6927	40,7	27,9	1,5409	34,1	17,7	0,6823	40,7	27,4	1,4910	25,5	14,1	0,2965	30,6	21,3	0,6759	26,1	15,3	0,3460	
Mínimo	8,2	8,6	0,0213	14,0	17,3	0,1337	6,4	7,0	0,0144	12,4	17,9	0,1114	4,5	6,0	0,0043	5,7	7,9	0,0112	3,5	5,0	0,0022	
CORRELAÇÕES FENOTÍPICAS																						
Local				Campo do Tenente				Morungava						Mocambo						Jaguaruaíba		
Idade		8 anos		15 anos			8 anos			15 anos			8 anos			15 anos			8 anos			
Variável	DAP	Ht	Vol	DAP	Ht	Vol	DAP	Ht	Vol	DAP	Ht	Vol	DAP	Ht	Vol	DAP	Ht	Vol	DAP	Ht	Vol	
8 anos	DAP	1,00	0,11	0,96	0,70	0,40	0,69	1,00	0,66	0,98	0,74	0,40	0,72	1,00	0,78	0,97	0,82	0,59	0,79	1,00	0,75	0,98
	Ht		1,00	0,33	0,34	0,35	0,35		1,00	0,73	0,35	0,50	0,39		1,00	0,82	0,64	0,68	0,65		1,00	0,77
	Vol			1,00	0,80	0,50	0,80			1,00	0,79	0,49	0,79			1,00	0,84	0,63	0,85			1,00
15 anos	DAP				1,00	0,65	0,99				1,00	0,50	0,98				1,00	0,73	0,98			
	Ht					1,00	0,70					1,00	0,59					1,00	0,78			
	Vol						1,00						1,00						1,00			

A variável DAP representa diâmetro a altura do peito (cm), a variável Ht representa a altura total da árvore (m) e a variável Volume representa o volume total da árvore com casca (m³sc). A variável CV % representa o coeficiente de variação total da amostra.

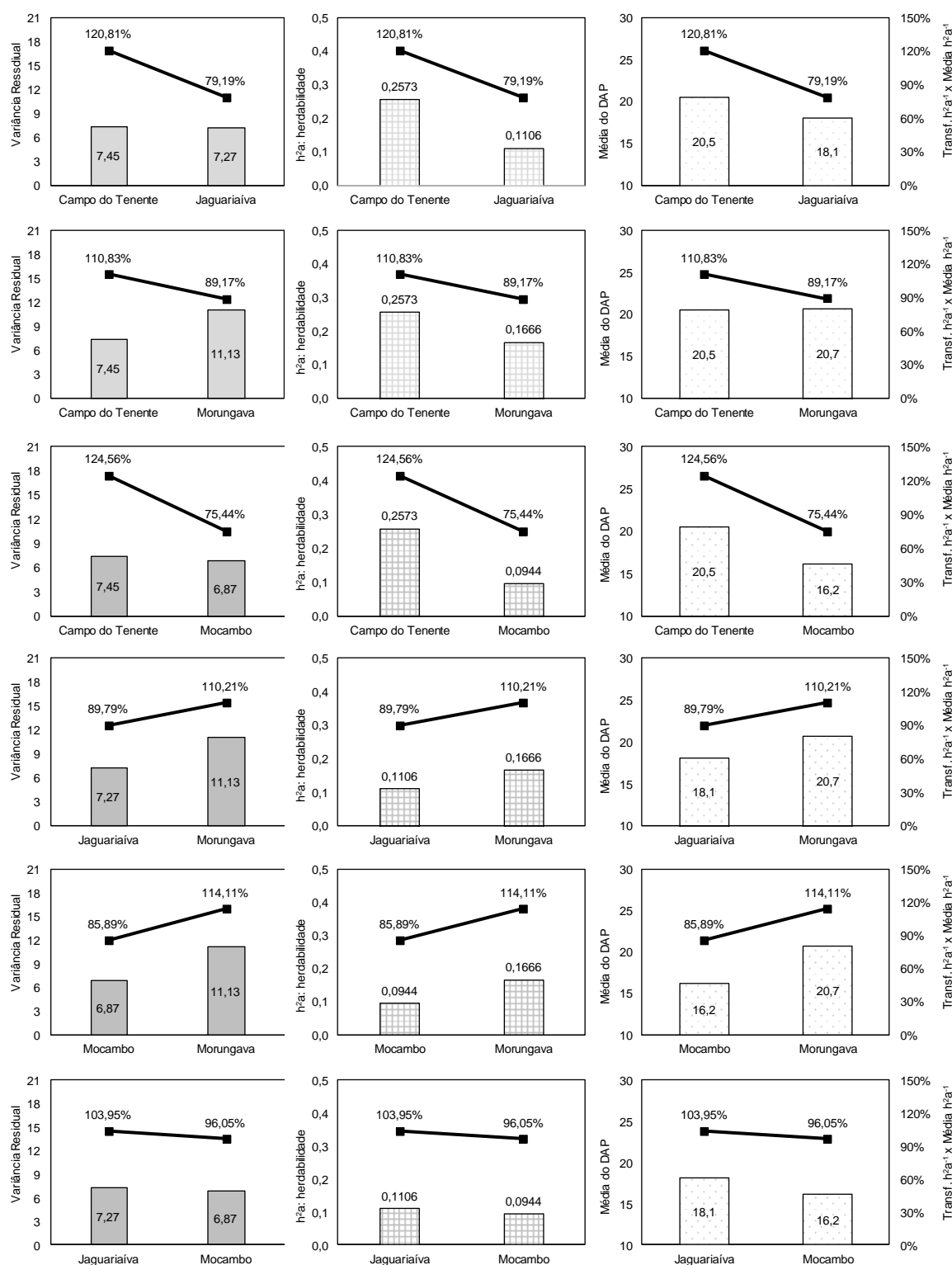


FIGURA 4.2: Gráficos da variância residual, herdabilidade, média DAP (cm) e o fator de transformação aplicado para cada conjunto de dados na idade de 8 anos, nas análises de vários locais realizadas dois a dois.

Na FIGURA 4.3 são apresentados os gráficos comparando a dispersão do DAP e a distribuição dos quartis teóricos e quartis da amostra com os dados

originais e os dados transformados na idade de oito anos, nas análises de vários locais realizadas dois a dois. Foi possível observar que apenas para os pares Campo do Tenente e Morungava, e Mocambo e Jaguariaíva ocorreu uma melhoria na normalidade dos dados, porém para Campo do Tenente e Morungava se observou um maior degraú na dispersão dos dados do DAP. Para todos os pares com fitogeografia tipo Floresta Ombrófila Mista com outra fitogeografia distinta ocorreu grande prejuízo na normalidade dos dados com a transformação, pois, justamente nestes pareamentos tivemos as maiores amplitudes de herdabilidades. Nesta situação de fitogeografias distintas, temos também um degraú natural na média do DAP, sendo sempre o DAP médio maior observado na fitogeografia Floresta Ombrófila Mista, e como as herdabilidades foram diretamente relacionadas ao crescimento, também nesta fitogeografia tivemos as maiores herdabilidades, seguida da fitogeografia Campo e por último a fitogeografia tipo Cerrado.

Este comportamento do crescimento e herdabilidades entre as distintas fitogeografias acarretou na transformação degraús elevados na dispersão do DAP, e, conforme citado anteriormente, as amplitudes das variâncias residuais foram baixas em todos eles. Desta forma, não foi recomendável nenhuma transformação dos dados na idade de oito anos e sim predizer os parâmetros genéticos com o BLUP, pois, conforme Resende (2004) é o melhor procedimento de estimação para os dados desbalanceados e também permite lidar com a heterogeneidade das variâncias quando na análise de distintos locais.

Na FIGURA 4.3 são apresentados os gráficos da variância residual, herdabilidade, média DAP (cm) e o fator de transformação aplicado para cada conjunto de dados na idade de quinze anos, nas análises pareadas dos três locais, visando corrigir possíveis heterogeneidade de variâncias. Foi possível observar que nesta idade de quinze anos a amplitude entre as variâncias residuais foram menores que na idade de oito anos, sendo a maior entre Morungava e Mocambo com 3,82, porém a amplitude das herdabilidades permaneceram altas. O mesmo comportamento foi observado em relação ao pareamento dos locais englobados em fitogeografias distintas, sendo sempre a fitogeografia tipo Cerrado com os maiores fatores de transformações devido ao menor crescimento e menor herdabilidade apresentada.

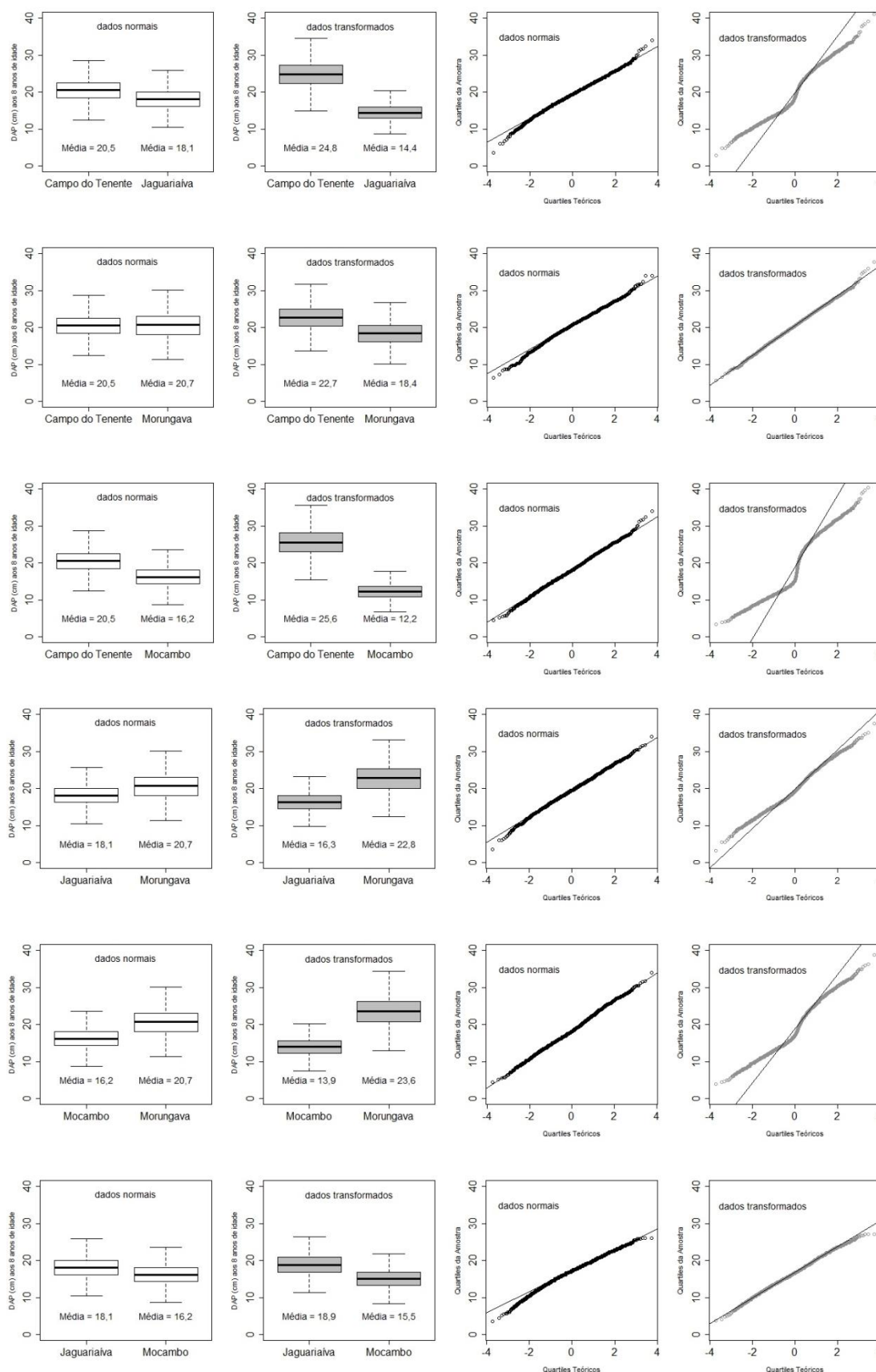


FIGURA 4.3: Gráficos comparando as médias DAP (cm) e a distribuição dos quartis teóricos e quartis da amostra com os dados originais e os dados transformados na idade de 8 anos, nas análises de vários locais realizadas dois a dois.

Na FIGURA 4.5 são apresentados os gráficos comparando a dispersão do DAP e a distribuição dos quartis teóricos e quartis da amostra com os dados originais e os dados transformados na idade de quinze anos. Com diferença para idade de oito anos que apresentou uma melhora na normalidade dos dados para Campo do Tenente e Morungava, na idade de quinze anos para estes dois locais e todos os demais pareamentos as normalidades observadas nos dados transformados foram piores, ou seja, sendo ainda menos recomendável esta prática na idade final de rotação.

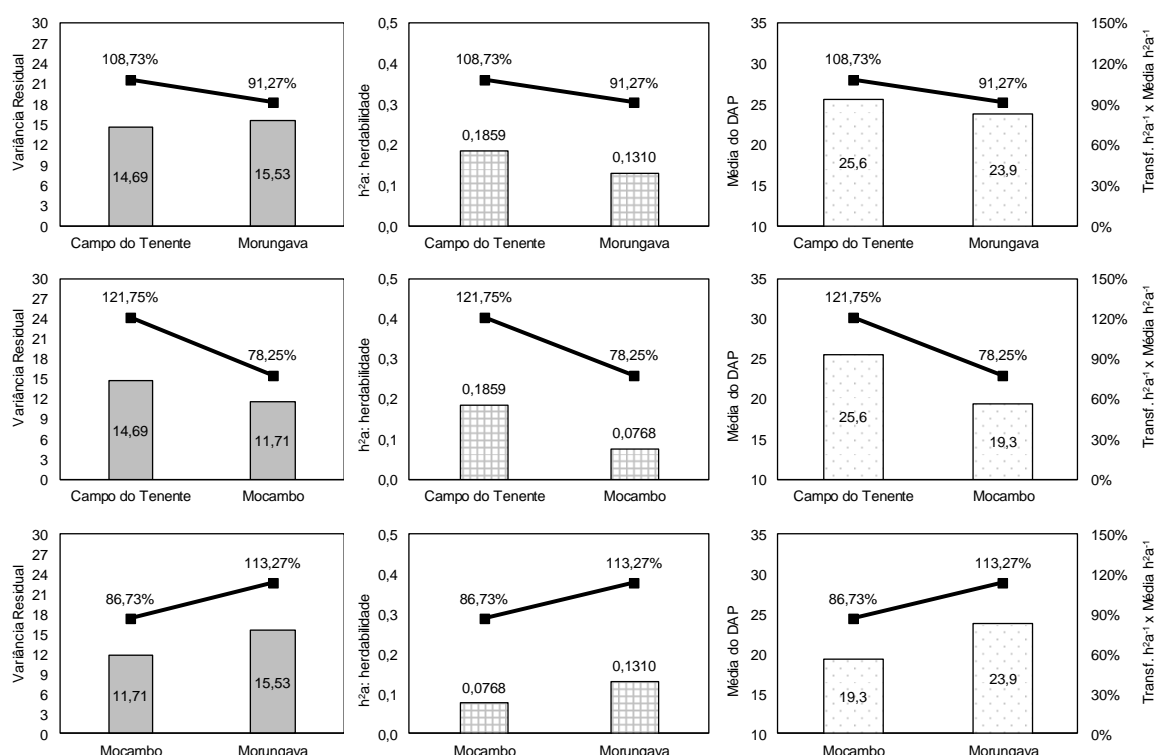


FIGURA 4.4: Gráficos da variância residual, herdabilidade, média DAP (cm) e o fator de transformação aplicado para cada conjunto de dados na idade de 15 anos, nas análises de vários locais realizadas dois a dois de todos os locais.

Na TABELA 4.2 são apresentados dos quadros das análises de deviance com os componentes da variância, componentes de determinação e o teste da razão de verossimilhança de cada efeito, da análise separada para Jaguariá e para os pareamentos dos locais dois a dois, para variável diâmetro a altura do peito (DAP). Foi possível observar que o coeficiente de determinação e o componente da variância do efeito da interação genótipo-ambiente foi significativo para todas as análises com exceção do pareamento de Campo do Tenente e Morungava na idade

de oito anos. Diante disto, é necessária cautela nas análises de interação em seleção precoce com distintos locais, porém na mesma fitogeografia tipo Floresta Ombrófila Mista, para não se utilizar apenas um único local para conduzir todas as experimentações genéticas. Podemos inferir que a diferença do efeito da interação entre oito e quinze anos possa ser devido a seleção das matrizes ter sido realizada em Campo do Tenente e pelo maior volume de precipitação média para Campo do Tenente em relação a Morungava, visto que a ordem do solo e profundidade serem similares.

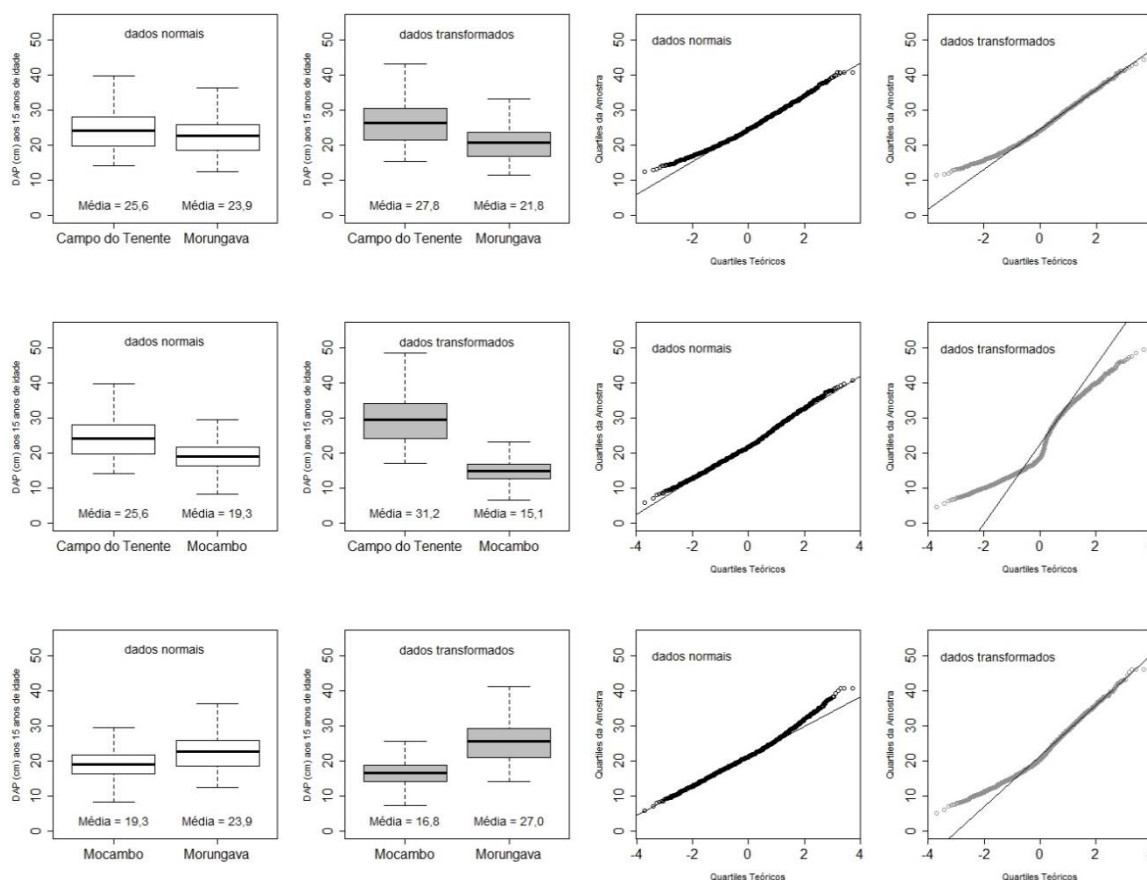


FIGURA 4.5: Gráficos comparando as médias DAP (cm) e a distribuição dos quartis teóricos e quartis da amostra com os dados originais e os dados transformados na idade de 15 anos, nas análises de vários locais realizadas dois a dois.

Estes resultados concordam com os resultados obtidos por Paludzyszyn Filho *et al.* (2001) para a interação genótipo-ambiente de *Pinus taeda* L. quando analisaram quatro ensaios, sendo em três ensaios implantados no estado do Paraná nos municípios Jaguariaíva, Sengés e Ventania, e um ensaio no estado de São Paulo, localizado no município de Itapeva. Os autores analisaram os ensaios em idade precoce de seis anos, concluindo haver interação genótipo-ambiente mesmo

na idade jovem apresentando o cálculo da significância da interação no modelo estatístico utilizado. Os autores não citaram os tipos de fitogeografias nos quais os ensaios foram implantados, porém os resultados apresentados concordam com os resultados obtidos nos ensaios localizados nos mesmos municípios deste estudo, Sengés e Jaguariaíva.

Nos estados do Paraná e Santa Catarina temos outro estudo de interação genótipo-ambiente com a espécie *Pinus taeda* L., com ensaios de progênies de meios-irmãos conduzido por Martinez *et al.* (2012). Estes autores analisaram 150 progênies de cinco procedências implantadas em cinco locais distintos. Os autores não citaram os tipos de fitogeografias referente aos locais e concluíram não haver interação genótipo-ambiente, porém analisaram os ensaios aos seis anos de idade e não apresentaram o cálculo da significância da adição do termo interação genótipo-ambiente no modelo estatístico utilizado. Pela localização dos ensaios nos municípios de Telêmaco Borba, Paraná, e Otacilio Costa, Santa Catarina, possivelmente a fitogeografia de todos eles sejam do tipo Floresta Ombrófila Mista e, com base nos resultados no presente estudo, a idade precoce não tenha permitido a expressão do efeito da interação.

Ainda na TABELA 4.2, a análise conjunta entre Campo do Tenente e Morungava em ambas as idades, foram as únicas que o efeito da progênie foi significativo, ou seja, porém, mesmo com o efeito da progênie significativo, indica-se não desconsiderar o efeito da interação e continuar as experimentações genéticas e ordenamentos dos melhores indivíduos e genitores para cada ambiente de forma separada.

O coeficiente de determinação e o componente da variância do efeito da progênie foi significativo apenas para análise conjunta de Campo do Tenente e Morungava, que pertencem ao mesmo tipo de fitogeografia Floresta Ombrófila Mista, e desta forma as herdabilidades foram significativas com valores de 0,21 a 0,16 para as idades de oito e quinze anos, respectivamente (TABELA 4.3). Nesta análise conjunta tivemos também os maiores valores de correlações genotípicas entre as progênies com os valores de 0,99 e 0,98 para as idades de oito e quinze anos, respectivamente. Esta diminuição de 0,01 foi suficiente para que o coeficiente de determinação e o componente da variância do efeito da interação se tornasse significativo na idade de quinze anos, e mesmo com o baixo valor do coeficiente de

determinação da interação de 0,0007 o teste da razão de verossimilhança foi significativo com 12,26. Reforçando a recomendação do anteriormente citada de conduzir Campo do Tenente e Morungava como ambientes separados, temos os resultados apresentados no capítulo anterior em que apenas cinco dos dez melhores genitores foram iguais nas análises separadas dos dois locais, ou seja, perderíamos 50% dos melhores genitores em cada local.

TABELA 4.2: ANÁLISE DE DEVIANCE COM OS COMPONENTES DA VARIÂNCIA, COMPONENTES DE DETERMINAÇÃO E O TESTE DA RAZÃO DE VEROSSIMILHANÇA DE CADA EFEITO, DA ANÁLISE SEPARADA PARA JAGUARIAÍVA E PARA OS PAREAMENTOS DOS LOCAIS DOIS A DOIS, PARA VARIÁVEL DIÂMETRO A ALTURA DO PEITO (DAP CM).

LOCAL	IDADE (ANOS)	EFEITO	DEVIANCE	TESTE DA RAZÃO DE VEROSSIMILHANÇA (LRT)	COMPONENTES DA VARIÂNCIA	COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO
Jaguariaíva	8	Progênie	7.298,27	13,77**	0,945067**	$h^2a=0,110564^{**}$
		Parcela	7.290,46	5,96*	0,331832*	$c^2_{\text{parc}}=0,044313^*$
		Resíduo	-	-	7,270785	$c^2_{\text{res}}=0,845123$
		Modelo	7.284,50	-	-	-
		Bloco	teste F=0,846002 ^{ns}		QM ef=6,1511	
Campo do Tenente e Morungava	8	Progênie	19.330,21	56,4**	2,455724**	$h^2a=0,208034^{**}$
		Parcela	19.270,39	-3,41 ^{ns}	0,038044 ^{ns}	$c^2_{\text{parc}}=0,003223^{ns}$
		Interação	19.271,95	-1,85 ^{ns}	0,009681 ^{ns}	$c^2_{\text{int}}=0,00082^{ns}$
		Resíduo	-	-	9,300991	$c^2_{\text{res}}=0,787923$
		Modelo	19.273,80	-	-	-
		Bloco	teste F=0,05421**		QM ef=0,5042	
	15	Progênie	24.145,20	-260,73**	2,972631**	$h^2a=0,155942^{**}$
		Parcela	24.209,47	-196,46**	0,659202**	$c^2_{\text{parc}}=0,034581^{**}$
		Interação	24.393,67	-12,26**	0,012648**	$c^2_{\text{int}}=0,000664^{**}$
		Resíduo	-	-	15,41796	$c^2_{\text{res}}=0,808813$
		Modelo	24.405,93	-	-	-
		Bloco	teste F=0,154456*		QM ef=2,3814	
Campo do Tenente e Mocambo	8	Progênie	17.927,55	-0,60 ^{ns}	0,044259 ^{ns}	$h^2a=0,003248^{ns}$
		Parcela	17.920,11	-6,84**	0,04333**	$c^2_{\text{parc}}=0,00318^{**}$
		Interação	19.145,76	1.218,81**	5,180105**	$c^2_{\text{int}}=0,38017^{**}$
		Resíduo	-	-	8,358075	$c^2_{\text{res}}=0,613402$
		Modelo	17.926,95	-	-	-
		Bloco	teste F=0,3012895 ^{ns}		QM ef= 2,5182	
	15	Progênie	19.815,01	-0,96 ^{ns}	0,008135 ^{ns}	$h^2a = 0,000159^{ns}$
		Parcela	19.781,89	-34,08 **	0,067781 **	$c^2_{\text{parc}} = 0,001321^{**}$
		Interação	25.398,61	5.582,64 **	43,63668 **	$c^2_{\text{int}} = 0,850462^{**}$
		Resíduo	-	-	7,596786	$c^2_{\text{res}} = 0,148058$
		Modelo	19.815,97	-	-	-
		Bloco	teste F = 0,1370711 **		QM ef= 1,0413	

Continua...

TABELA 4.2: ANÁLISE DE DEVIANCE COM OS COMPONENTES DA VARIÂNCIA, COMPONENTES DE DETERMINAÇÃO E O TESTE DA RAZÃO DE VEROSSIMILHANÇA DE CADA EFEITO, DA ANÁLISE SEPARADA PARA JAGUARIAÍVA E PARA OS PAREAMENTOS DOS LOCAIS DOIS A DOIS, PARA VARIÁVEL DIÂMETRO A ALTURA DO PEITO (DAP CM).

Continuação						
LOCAL	IDADE (ANOS)	EFEITO	DEVIANCE	TESTE DA RAZÃO DE VEROSSIMILHANÇA (LRT)	COMPONENTES DA VARIÂNCIA	COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO
Morungava e Mocambo	8	Progênie	19.826,30	-0,20 ^{ns}	0,046211 ^{ns}	$h^2a = 0,002955$ ^{ns}
		Parcela	19.821,39	-4,71 *	0,046043 *	$c^2_{\text{parc}} = 0,002944$ *
		Interação	20.901,83	1075,73 **	5,456431 **	$c^2_{\text{int}} = 0,348873$ **
		Resíduo	-	-	10,09149	$c^2_{\text{res}} = 0,645228$
		Modelo	19.826,10	-	-	-
	15	Bloco	teste F = 0,382738 ^{ns}		QM ef=3,8624	
		Progênie	24.681,62	0,11 ^{ns}	0,033716 ^{ns}	$h^2a = 0,001747$ ^{ns}
		Parcela	24.582,95	-98,56 **	0,250427 **	$c^2_{\text{parc}} = 0,012979$ **
		Interação	28.214,48	3.532,97 **	4,149517 **	$c^2_{\text{int}} = 0,215053$ **
		Resíduo	-	-	14,861651	$c^2_{\text{res}} = 0,770221$
Campo do Tenente e Jaguariaíva	8	Modelo	24.681,51	-	-	-
		Bloco	teste F = 0,184024 *		QM ef=2,7349	
		Progênie	15.667,60	0,00 ^{ns}	0,022623 ^{ns}	$h^2a = 0,002089$ ^{ns}
		Parcela	15.668,07	0,47 ^{ns}	0,071029 ^{ns}	$c^2_{\text{parc}} = 0,006559$ ^{ns}
		Interação	16.065,14	397,54 **	1,895122 **	$c^2_{\text{int}} = 0,175008$ **
	15	Resíduo	-	-	8,840014	$c^2_{\text{res}} = 0,816344$
		Modelo	15.667,60	-	-	-
		Bloco	teste F = 0,203077 *		QM ef=1,7952	
		Progênie	17.434,25	0,00 ^{ns}	0,02555 ^{ns}	$h^2a = 0,001975$ ^{ns}
		Parcela	17.434,47	0,22 ^{ns}	0,061896 ^{ns}	$c^2_{\text{parc}} = 0,004785$ ^{ns}
Morungava e Jaguariaíva	8	Interação	17.822,64	388,39 **	2,003245 **	$c^2_{\text{int}} = 0,154863$ **
		Resíduo	-	-	10,844889	$c^2_{\text{res}} = 0,838377$
		Modelo	17.434,25	-	-	-
	15	Bloco	teste F = 0,1653129 *		QM ef=1,7928	
		Progênie	15.754,94	0,00 ^{ns}	0,015078 ^{ns}	$h^2a = 0,0016651$ ^{ns}
		Parcela	15.757,02	2,08 ^{ns}	0,123658 ^{ns}	$c^2_{\text{parc}} = 0,013653$ ^{ns}
		Interação	16.045,23	290,29 **	1,181891 **	$c^2_{\text{int}} = 0,130493$ **
		Resíduo	-	-	7,73651	$c^2_{\text{res}} = 0,854189$
	15	Modelo	15.754,94	-	-	-
		Bloco	teste F = 0,993058 ^{ns}		QM ef=7,6828	

Os valores com o símbolo ** e * representam estatisticamente os valores onde foram encontradas diferenças significativas a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente. Os valores com o símbolo ns representam os valores sem efeito significativo. Efeito fixo= ef. FONTE: Do autor.

Analisando a natureza da interação, não se trata de interação multiplicativa (VENCOVSKY *et al.*, 1992), ou seja, as diferenças entre os ambientes ocasionam mudanças no ordenamento dos genitores. Isto ocorreu mesmo com correlações significativas altas (*Spearman* ou *Pearson*), e, conforme citado anteriormente,

analisando os 10 melhores genitores para cada idade e local, percebemos uma coincidência de apenas 50% entre os 10 melhores genitores. Para as correlações desta análise retiramos os genitores que estavam presentes apenas em um ensaio (TABELA 4.4).

Outro estudo de interação genótipo-ambiente com *Pinus taeda* L realizado no Paraná foi conduzido por Duda (2003) com análise de três ensaios sendo dois ensaios localizados no município de Arapoti e um ensaio localizado no município vizinho chamando Jaguariaíva, e embora não citado pelo autor, certamente o ensaio de Jaguariaíva está localizado na fitogeografia Cerrado e um dos ensaios de Arapoti está localizado em fitogeografia de transição da Floresta Ombrófila Mista. Este autor concluiu que a interação genótipo-ambiente não foi significativa devido à alta correlação genética entre os locais, recomendando a condução de um único programa de experimentação genética, porém não foi apresentada a análise da significância dos efeitos do modelo principalmente do efeito da interação. O autor verificou que a correlação genética entre os locais foi de alta magnitude superior a 0,8, porém também os ensaios foram avaliados em idades muito precoces de seis a sete anos.

Como não foi possível realizar a medição do ensaio de Jaguariaíva na idade final de rotação aos quinze anos, era esperado a possibilidade de agregar este ambiente no ordenamento dos genitores e dos melhores indivíduos com base no ensaio mais próximo, porém não foi possível. As três análises de pareamento deste local com os demais três ensaios apresentaram coeficiente de determinação do efeito da interação significativos com valores variando de 13 a 18%, com valores de correlações genotípicas de aproximadamente 0,003. Desta forma, recomenda-se para este ambiente utilizar a seleção precoce, pois como apresentado no capítulo anterior tem alta eficácia para a seleção dos genitores e apresenta resultado muito similar para a seleção dos melhores trinta indivíduos.

TABELA 4.3: RESULTADOS DA ANÁLISE DE MÁXIMA VEROSSIMILHANÇA RESTRITA COM OS COMPONENTES DA VARIÂNCIA, COMPONENTES DE DETERMINAÇÃO E COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO, DA ANÁLISE SEPARADA DE JAGUARIAÍVA E DAS ANÁLISES CONJUNTAS DOIS A DOIS, PARA VARIÁVEL DIÂMETRO A ALTURA DO PEITO (DAP CM).

COMPONENTES DE VARIÂNCIA (REML INDIVIDUAL)	JAGUARIAÍVA	CAMPO DO TENENTE E MORUNGAVA		CAMPO DO TENENTE E MOCAMBO		MORUNGAVA E MOCAMBO		CAMPO DO TENENTE E JAGUARIAÍVA	MORUNGAVA E JAGUARIAÍVA	MOCAMBO E JAGUARIAÍVA
	8 anos	8 anos	15 anos	8 anos	15 anos	8 anos	15 anos	8 anos	8 anos	8 anos
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Va	0,94507**	2,4557**	2,9726**	0,0443 ^{ns}	0,0081 ^{ns}	0,0462 ^{ns}	0,0337 ^{ns}	0,0226 ^{ns}	0,0256 ^{ns}	0,0151 ^{ns}
Vparc	0,33183*	0,0380 ^{ns}	0,6592**	0,0433**	0,0678**	0,0460*	0,2504**	0,0710 ^{ns}	0,0619 ^{ns}	0,1237 ^{ns}
Vint		0,0097 ^{ns}	0,0126**	5,1801**	43,6367**	5,4564**	4,1495**	1,8951**	2,0032**	1,1819**
Ve	7,27	9,30	15,42	8,36	7,60	10,09	14,86	8,84	10,84	7,74
Vf	8,55	11,80	19,06	13,63	51,31	15,64	19,30	10,83	12,94	9,06
h2a	0,11056**	0,20803**	0,1559**	0,0033 ^{ns}	0,0002 ^{ns}	0,0030 ^{ns}	0,0017 ^{ns}	0,0021 ^{ns}	0,0020 ^{ns}	0,0017 ^{ns}
	+ -0,0391	+ -0,0357	+ -0,0335	+ -0,0045	+ -0,0010	+ -0,0042	+ -,0034	+ -0,0037	+ -0,0035	+ - 0,0032
c2parc	0,03882*	0,00322 ^{ns}	0,0346**	0,0032**	0,0013**	0,0029*	0,0130**	0,0066 ^{ns}	0,0048 ^{ns}	0,0137 ^{ns}
c2int		0,0008 ^{ns}	0,0007**	0,3802**	0,8505**	0,3489**	0,2151**	0,1750**	0,1549**	0,1305**
h2mp	0,4951	0,6804	0,7353	0,0038	0,0000	0,0039	0,0034	0,0046	0,0047	0,0044
Acprog	0,7036	0,8249	0,8575	0,0614	0,0068	0,0621	0,0582	0,0680	0,0682	0,0664
h2ad	0,0888	0,1653	0,1263	0,0040	0,0008	0,0034	0,0017	0,0019	0,0018	0,0015
rgloc		0,9845	0,9833	0,0021	0,0000	0,0021	0,0020	0,0030	0,0032	0,0032
PEV	0,1193	0,1962	0,1967	0,0110	0,0020	0,0115	0,0084	0,0056	0,0064	0,0038
SEP	0,3454	0,4430	0,4435	0,1050	0,0451	0,1073	0,0917	0,0750	0,0797	0,0613
Média geral do experimento.	18,1	20,6	24,7	18,2	23,5	18,4	21,6	19,4	19,0	17,1
Beta		1,0257	1,1500	0,7644	0,7039	0,9755	1,2540			
Média Cov		0,1223	0,9451	0,1182	0,6318	0,1196	0,6058			

Va= variância genética aditiva. Vparc= variância ambiental entre parcelas. Vint= variância da interação genótipo-ambiente. Ve= variância residual (ambiental + não aditiva). Vf= variância fenotípica individual. h2a= herdabilidade individual no sentido restrito, ou seja, dos efeitos aditivos. c2parc= coeficiente de determinação dos efeitos de parcela. c2int = c21= coeficiente de determinação dos efeitos da interação genótipo x ambiente. h2mp= herdabilidade da média de progênes, assumindo sobrevivência completa. Acprog= acurácia da seleção de progênes, assumindo sobrevivência completa. h2ad= herdabilidade aditiva dentro de parcela. rgloc= correlação genotípica entre o desempenho das progênes nos vários ambientes. PEV= variância do erro de predição dos valores genotípicos de progênie, assumindo sobrevivência completa. SEP= desvio padrão do valor genotípico predito de progênie, assumindo sobrevivência completa. Beta= coeficiente de regressão associado à covariável. Média Cov= Média da covariável. Os valores com o símbolo ** e * representam estatisticamente os valores onde não foram encontradas diferenças significativas a 5% e 1% de probabilidade.

TABELA 4.4: RESULTADOS DA ANÁLISE DA CORRELAÇÃO DO ORDENAMENTO E DOS VALORES GENÉTICOS ADITIVOS DOS ENSAIOS DE CAMPO DO TENENTE E MORUNGAVA QUE APRESENTARAM NA IDADE DE 8 ANOS O COEFICIENTE DE INTERAÇÃO SIGNIFICATIVO.

n Trat.		ORDENAMENTO				VALORES GENÉTICOS ADITIVOS			
		8 ANOS		15 ANOS		8 ANOS		15 ANOS	
		CPO	MOR	CPO	MOR	CPO	MOR	CPO	MOR
		Spearman	0,73**	Spearman	0,46**	Pearson	0,73**	Pearson	0,59**
		c ² int	0,0008 ^{ns}	c ² int	0,0007**	c ² int	0,0008 ^{ns}	c ² int	0,0007**
		Coinc 10	60%	Coinc. 10	50%	Coinc. 10	60%	Coinc.10	50%
1	22	1	2	1	2	23,4	22,6	29,7	26,2
2	6	2	9	3	24	23,0	22,3	27,8	24,4
3	18	3	26	4	26	22,9	21,8	27,7	24,3
4	44	4	7	9	3	22,8	22,4	27,4	26,0
5	32	5	8	7	4	22,5	22,3	27,5	25,7
6	13	6	23	13	40	22,4	21,9	27,1	23,6
7	70	7	4	16	10	22,4	22,5	26,7	25,2
8	10	8	18	6	6	22,2	22,1	27,6	25,4
9	51	9	24	14	27	22,2	21,8	27,0	24,3
10	25	10	6	5	1	22,1	22,4	27,7	26,4
11	37	11	11	10	25	22,0	22,2	27,2	24,4
12	57	12	20	2	36	21,8	22,0	28,1	23,8
13	24	13	21	23	11	21,5	22,0	26,1	25,0
14	16	14	32	12	22	21,5	21,6	27,1	24,6
15	43	15	19	15	49	21,5	22,0	26,7	23,2
16	62	16	37	28	57	21,4	21,5	25,8	22,8
17	63	17	13	11	23	21,4	22,2	27,2	24,6
18	56	18	12	21	7	21,3	22,2	26,3	25,4
19	49	19	15	25	32	21,3	22,1	26,0	24,0
20	7	20	25	18	41	21,3	21,8	26,4	23,6
21	17	21	3	30	8	21,2	22,5	25,7	25,2
22	61	22	40	22	30	21,1	21,4	26,2	24,1
23	31	23	38	24	31	21,1	21,5	26,1	24,0
24	27	24	48	8	51	21,0	21,2	27,5	23,2
25	2	25	35	20	48	21,0	21,5	26,4	23,3
26	66	26	5	33	21	21,0	22,4	25,6	24,6
27	23	27	50	26	45	20,9	21,2	25,9	23,4
28	52	28	17	61	16	20,8	22,1	23,6	24,7
29	58	29	41	29	47	20,8	21,4	25,7	23,3
30	50	30	14	47	44	20,7	22,2	24,7	23,6
31	69	31	28	31	9	20,7	21,7	25,6	25,2
32	47	32	30	44	34	20,6	21,7	24,7	23,8
33	28	33	16	41	13	20,5	22,1	24,9	24,9
34	34	34	31	45	19	20,4	21,6	24,7	24,7
35	19	35	45	19	33	20,4	21,3	26,4	24,0
36	64	36	36	38	29	20,4	21,5	25,0	24,1
37	11	37	47	32	55	20,3	21,3	25,6	22,9
38	26	38	22	36	14	20,3	22,0	25,3	24,9
39	15	39	29	17	38	20,2	21,7	26,5	23,7
40	29	40	39	27	37	20,1	21,4	25,8	23,7
41	39	41	43	51	54	20,1	21,4	24,6	22,9

Continua

TABELA 4.4: RESULTADOS DA ANÁLISE DA CORRELAÇÃO DO ORDENAMENTO E DOS VALORES GENÉTICOS ADITIVOS DOS ENSAIOS DE CAMPO DO TENENTE E MORUNGAVA QUE APRESENTARAM NA IDADE DE 8 ANOS O COEFICIENTE DE INTERAÇÃO SIGNIFICATIVO.

Continuação

n		Trat.		ORDENAMENTO				VALORES GENÉTICOS ADITIVOS			
				8 ANOS		15 ANOS		8 ANOS		15 ANOS	
				CPO	MOR	CPO	MOR	CPO	MOR	CPO	MOR
				Spearman	0,73**	Spearman	0,46**	Pearson	0,73**	Pearson	0,59**
				c ² int	0,0008 ^{ns}	c ² int	0,0007**	c ² int	0,0008 ^{ns}	c ² int	0,0007**
		Coinc 10	60%	Coinc. 10	50%	Coinc. 10	60%	Coinc.10	50%		
42	1	42	27	46	46	20,1	21,8	24,7	23,4		
43	4	43	51	43	39	20,0	21,2	24,7	23,6		
44	5	44	49	34	20	19,9	21,2	25,4	24,6		
45	60	45	44	57	56	19,9	21,3	23,9	22,9		
46	46	46	54	52	42	19,8	21,1	24,5	23,6		
47	54	47	42	54	62	19,8	21,4	24,3	22,6		
48	35	48	46	39	61	19,7	21,3	24,9	22,6		
49	12	49	33	40	17	19,6	21,6	24,9	24,7		
50	74	50	1	48	12	19,6	22,7	24,7	25,0		
51	45	51	10	53	15	19,5	22,3	24,3	24,8		
52	14	52	58	37	67	19,3	20,9	25,1	22,2		
53	3	53	56	59	69	19,2	21,0	23,8	21,9		
54	71	54	60	42	66	19,1	20,8	24,8	22,2		
55	65	55	62	56	64	18,8	20,7	24,0	22,4		
56	30	56	59	58	52	18,8	20,9	23,8	23,1		
57	59	57	52	49	50	18,8	21,1	24,6	23,2		
58	36	58	63	62	65	18,7	20,7	23,1	22,2		
59	21	59	34	55	35	18,6	21,6	24,1	23,8		
60	67	60	64	35	59	18,6	20,7	25,3	22,7		
61	73	61	55	50	68	18,4	21,0	24,6	22,0		
62	8	62	61	64	70	17,9	20,8	22,5	21,7		
63	9	63	57	63	60	17,8	21,0	23,0	22,6		
64	72	64	53	60	53	17,0	21,1	23,7	23,0		

Em cinza estão grifados os valores dos dez melhores genitores. Coinc = Coincidência

Na FIGURA 4.6 estão apresentados as correlações entre Jaguariaíva e os demais locais. Os resultados desta análise mais simples foram os mesmos do modelo misto para a interação com Mocambo e Morungava, porém para Campo do Tenente a regressão linear simples apresentou correlação de *Pearson* de 0,49 e significativa a 1% e teste F da equação também significativo a 1%. Desta forma, utilizar regressões lineares ou correlações de *Pearson* para correlação de ambientes, como alternativa a análise mais complexa do modelo misto, não se mostrou efetiva. O mesmo foi observado nas regressões lineares e correlações lineares para os demais pareamentos dos locais em ambas as idades, conforme apresentado nas FIGURAS 4.7 e 4.8, onde temos significância estatística levando a conclusão contrária da análise do efeito da interação no modelo misto. O ponto

positivo destas análises lineares simples foi que as correlações nas idades de quinze anos foram menores que oito anos, reforçando a conclusão obtida no modelo misto de Campo do Tenente e Morungava, onde a interação aumentou na idade final.

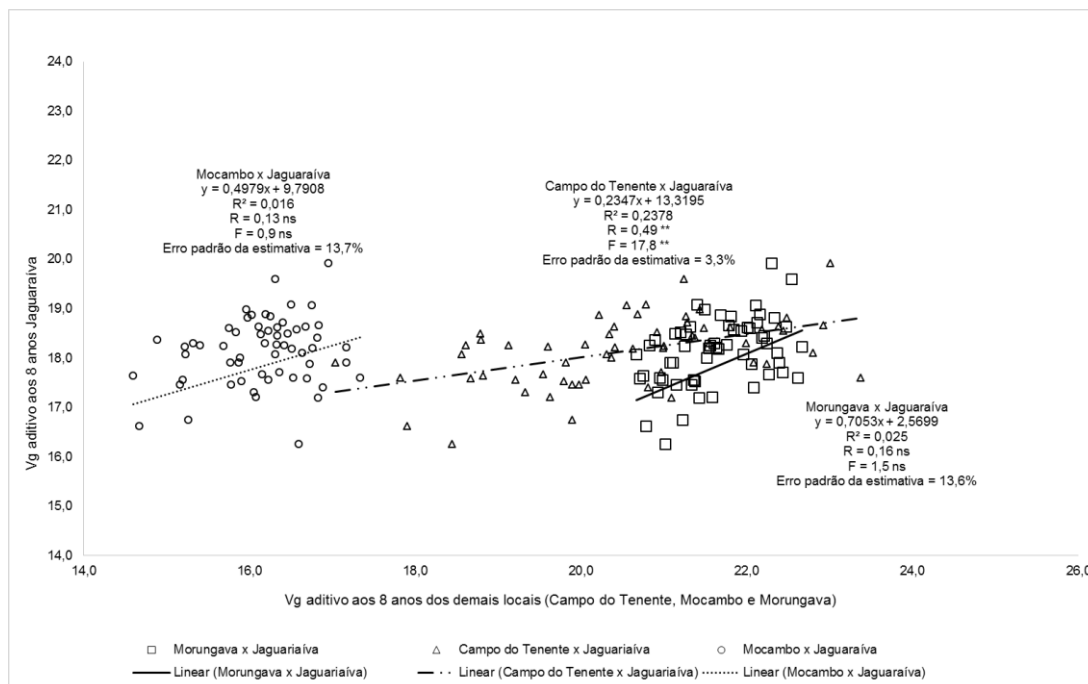


FIGURA 4.6: Regressões lineares com as correlações de *Pearson* dos valores genéticos aditivos em Campo do Tenente, Morungava e Mocambo comparados com Jaguaraiá nas idades de 8 anos realizados pareados dois a dois com Jaguaraiá.

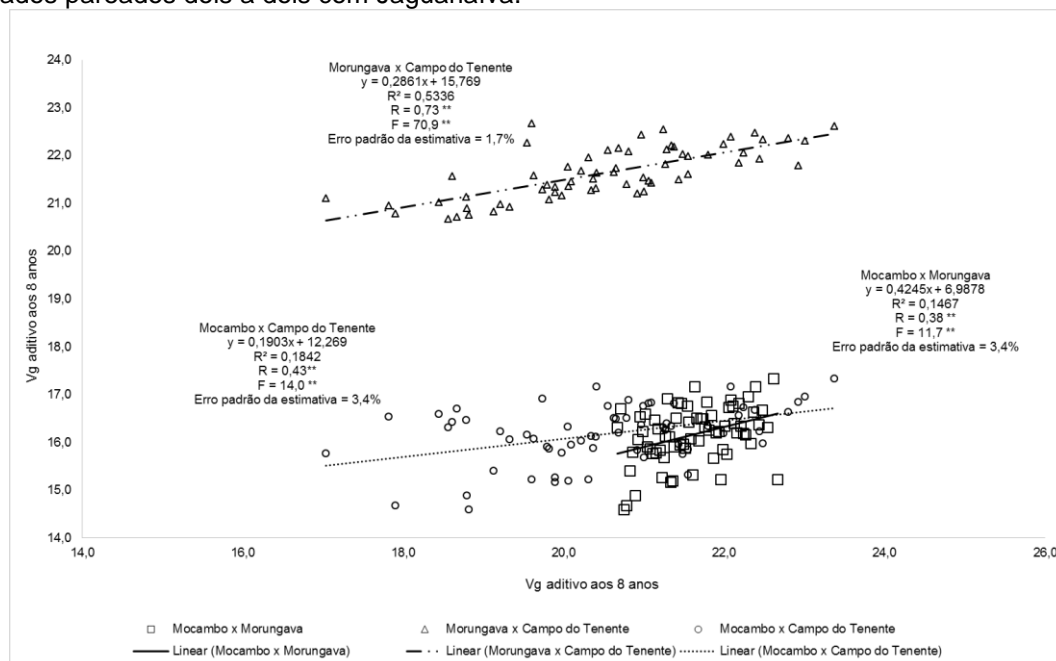


FIGURA 4.7: Regressões lineares com as correlações de *Pearson* dos valores genéticos aditivos em Campo do Tenente, Morungava e Mocambo nas idades de 8 anos realizados pareados dois a dois.

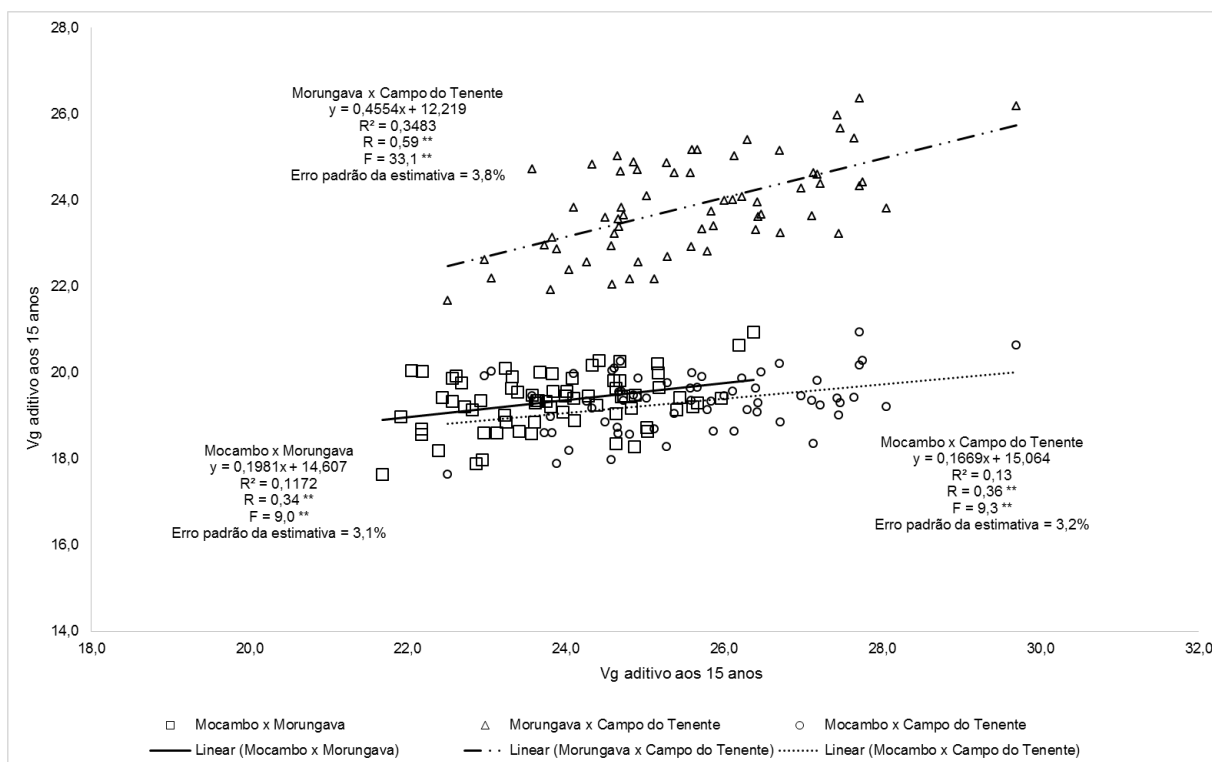


FIGURA 4.8: Regressões lineares com as correlações de *Pearson* dos valores genéticos aditivos em Campo do Tenente, Morungava e Mocambo nas idades de 15 anos realizados pareados dois a dois.

4.4 CONCLUSÕES

Com base nos resultados pode-se concluir que:

- Para o material genético e caracteres testados, e nos locais avaliados, foi observado interação genótipo-ambiente em todas as análises na idade de quinze anos e, desta forma, não é possível adotar um único modelo estatístico com dois locais para ordenamentos dos melhores indivíduos e genitores.
- Foi observado mudança na significância do efeito da interação para um mesmo local entre a idade de oito e quinze anos, e, desta forma, as conclusões de seleção precoce sobre interação genótipo-ambiente foram diferentes das conclusões aos quinze anos, podendo acarretar recomendações precoces errôneas na condução do programa.

REFERÊNCIAS

BORÉM, A. **Melhoramento de Plantas**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa. P. 547, 1997.

CPRM. **Atlas Pluviométrico do Brasil**. <http://www.cprm.gov.br>. Isoetas Anuais. Edição 2006.

DUDA, L. L. **Seleção Genética de Árvores de *Pinus taeda* L. na Região de Arapoti, Paraná**. 61p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná. 2003.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3ª. Edição revista e ampliada. Brasília, DF: Embrapa. P.353,2013.

FERREIRA, A. R. **Análise Genética e Seleção em Testes Dialélicos de *Pinus taeda* L.** 2005. 220p. Tese (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, 2005.

MAACK, R. **Geografia Física do Estado do Paraná**. 3ª. ed. Curitiba: Imprensa Oficial. P.440, 2002.

MARTINEZ, D. T.; RESENDE, M. D. V.; COSTA, R. B.; HIGA, A. R.; SANTOS, G. A.; FIER, I. S. N. Estudo da Interação Genótipo x Ambiente em Progenies de *Pinus taeda* por meio da Análise de Parâmetros Genéticos. **Revista Floresta**. Curitiba, PR. Vol. 42, n.3, p. 539 – 552, 2012.

MINEROPAR. **Mapa Geológico do Paraná**. Governo do Estado do Paraná. <http://www.mineropar.pr.gov.br>. Edição 2006.

PALUDZYSZYN FILHO, E.; MORA, A. L.; MAESTRI, R. Interação de Genótipos de *Pinus taeda* L. com locais no Sul-Sudeste do Brasil. **Revista Cerne**. Vol.7, n.1, p.090-100, 2001.

PINTO JUNIOR, J. E.; STURION, J. A., RESENDE, M. D. V., RONZELLI JUNIOR, P. Avaliação Simultânea de Produtividade, Adaptabilidade e Estabilidade Genotípica de *Eucalyptus grandis* em Distintos Ambientes do Estado de São Paulo. **Boletim Pesquisa Florestal**. Colombo, n. 53, p. 79-108, 2006.

PIRES, I. E.; RESENDE, M. D. V.; SILVA, R. L.; RESENDE JR., M. F. R. **Genética Florestal**. Viçosa. P. 318, 2011.

RESENDE, M. D. V. Melhor Predição Linear Não Viciada (BLUP) de Valores Genéticos no Melhoramento de *Pinus*. **Boletim Pesquisa Florestal**. Colombo, n. 32/33, p. 3-22 jan./dez. 1996a.

RESENDE, M. D. V. Estimção de Componentes de Variância e Predição de Valores Genéticos pelo Método de Máxima Verossimilhança Restrita (REML) e Melhor Predição Linear Não Viciada (BLUP). **Boletim Pesquisa Florestal**. Colombo, n. 32/33, p. 23-42 jan./dez. 1996b.

RESENDE, M.D.V. **Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica. P. 975, 2002.

RESENDE, M. D. V. **Métodos Estatísticos Ótimos na Análise de Experimentos de Campo**. Colombo: Embrapa Florestas. P. 57, 2004.

RESENDE, M. D. V. **Selegen-Reml/Blup: Sistema Estatístico e Seleção Genética Computadorizada via Modelos Lineares Mistos**. Colombo: Embrapa Florestas. P. 360, 2007.

VENCOVSKY, R. & BARRIGA, P. **Genética Biométrica no Fitomelhoramento**. Ribeirão Preto: Revista Brasileira de Genética, p. 496, 1992.

5 CONSIDERAÇÕES GERAIS.

Com base nos resultados pode-se concluir que:

- A seleção precoce de genitores apresentou alta correlação linear e de ordenamento para todos os ambientes avaliados, porém o ganho genético com o plantio de sementes dos dez melhores genitores selecionados de forma precoce foi eficaz apenas onde a seleção das matrizes e avaliação da progênie ocorreram no mesmo ambiente.
- A seleção precoce de indivíduos foi eficaz para os dois ambientes com mesmo clima e fitogeografia do local de seleção das matrizes, sendo altamente recomendável a utilização da restrição de número de indivíduos máximo por família para evitar redução no tamanho efetivo populacional, pois esta prática não acarretou em nenhuma perda no valor da nova média.
- Para a fitogeografia tipo Cerrado não foi possível observar diferenças estatísticas tanto para a seleção dos genitores como seleção de indivíduos, com o rigor estatístico utilizado, devido ao ambiente tão distinto dos demais ensaios e principalmente tão distinto do histórico da procedência das matrizes. Para este local com clima Cfa não se recomenda o plantio destas progênies sendo necessária avaliação de novos germoplasmas.
- Para o material genético e locais avaliados foi observado interação genótipo-ambiente e desta forma indica-se considerar este efeito e continuar de forma separada as experimentações genéticas e ordenamentos dos melhores indivíduos e genitores para cada ambiente.
- Foi observada mudança na significância do efeito da interação, e desta forma não se deve utilizar as informações em idade precoce para definir interação genótipo-ambiente, pois este efeito do modelo pode mudar ao longo da rotação acarretando recomendações errôneas na condução do programa.
- Para o material genético avaliado no ambiente Jaguariáiva onde não temos medição no final da rotação indica-se utilizar a seleção precoce para a seleção dos genitores e dos melhores indivíduos, pois em todos os demais locais a interação foi significativa.

REFERÊNCIAS

- ABRAF. **Anuário estatístico da ABRAF 2012 ano base 2011**. Brasília, DF. P. 150, 2012.
- AGUIAR, A. V.; SOUSA, V. A.; FRITZSONS, E.; PINTO JUNIOR, J. E. **Programa de Melhoramento de Pinus da Embrapa Florestas**. Dados eletrônicos – Colombo: Embrapa Florestas. 2011.
- BALOCCHI, C. E.; BRIDGWATER, F. E.; ZOBEL, B. J.; JAHROMI, S. Age Trends in Genetic Parameters for Tree Height in a Nonselected Population of Loblolly Pine. **Forest Science**. Vol. 39, n. 2, p. 231-251, 1993.
- BORÉM, A. **Melhoramento de Plantas**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa. P. 547, 1997.
- CPRM. **Atlas Pluviométrico do Brasil**. <http://www.cprm.gov.br>. Isoetas Anuais. Edição 2006.
- CRUZ, C. D. **Princípios de Genética Quantitativa**. Viçosa: UFV. 2ª. Edição. P. 349, 2012
- CUMMING, G.; FIDLER, F.; VAUX, D. L. Error bars in experimental biology. **Journal of Cell Biology**. Vol. 177, n. 1, April 9, p. 7-11, 2007.
- DUDA, L. L. **Seleção Genética de Árvores de Pinus taeda L. na Região de Arapoti, Paraná**. 61p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná. 2003.
- EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3ª. Edição revista e ampliada. Brasília, DF: Embrapa. P. 353, 2013.
- EMBRAPA/IBDF. **Terminologia de Melhoramento Genético Florestal**. Programa Nacional de Pesquisa Florestal. Brasília, DF: Embrapa. P.88, 1980.

FERREIRA, A. R. **Análise Genética e Seleção em Testes Dialélicos de *Pinus taeda* L.** 220p. Tese (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná. 2005.

FOSTER, G. S. Trends in Genetic Parameters with Stand Development and Their Influence on Early Selection for Volume Growth in Loblolly Pine. **Forest Science**. Vol. 32, n. 4, p. 944-959, 1986.

GWAZE, D. P.; WOOLLIAMS, J. A.; KANOWSKI, P. J. Optimum Selection Age for Height in *Pinus taeda* L. in Zimbabwe. **Silvae genetica**. V. 46, n. 6, p. 358-365, 1997.

GWAZE, D. P.; BRIDGWATER, F. E.; BYRAM, T. D.; LOWE, W. J. Genetic Parameter Estimates for Growth and Wood Density in Loblolly Pine (*Pinus taeda* L.). **Forest Genetics**. Vol. 8, n.1, p.47-55, 2001.

IBÁ. **Anuário estatístico do Instituto Brasileiro de Árvores IBÁ 2015 ano base 2014**. <http://www.iba.org>. Brasília, DF. P. 64, 2015.

LAMBETH, C. C.; VAN BUIJTENEN, J. P.; DUKE, S. D. Early Selection is effective in 20-year-old Genetic Tests of Loblolly pine. **Silvae Genetica**, Vol.32, p. 210-215, 1983.

LI, B.; MCKEAND, S.; WEIR, R. Tree Improvement and Sustainable Forestry – Impact of Two Cycles Of Loblolly Pine Breeding in the U.S.A. **Forest Genetics**. Vol. 6, n.4, p. 229-234, 1999.

MAACK, R. **Geografia Física do Estado do Paraná**. 3ª. ed. Curitiba: Imprensa Oficial. P. 440, 2002.

MARTINEZ, D. T.; RESENDE, M. D. V.; COSTA, R. B.; HIGA, A. R.; SANTOS, G. A.; FIER, I. S. N. Estudo da Interação Genótipo x Ambiente em Progenies de *Pinus*

taeda por meio da Análise de Parâmetros Genéticos. **Revista Floresta**. Curitiba, PR. Vol. 42, n.3, p. 539 – 552, jul./set. 2012.

MCKEAND, S. E. Optimun Age For Family Selection for Growth in Genetic Tests of Loblolly Pine. **Forest Science**. Vol. 34, n. 2, p. 400-411, 1998.

MINEROPAR. **Mapa Geológico do Paraná**. Governo do Estado do Paraná. <http://www.mineropar.pr.gov.br>. Edição 2006.

PALUDZYSZYN FILHO, E.; MORA, A. L.; MAESTRI, R. Interação de Genótipos de *Pinus taeda* L. com locais no Sul-Sudeste do Brasil. **Revista Cerne**. Vol.7, n.1, p.090-100, 2001.

PALUDZYSZYN FILHO, E.; FERNANDES, J. S. C.; RESENDE, M. D. V. Avaliação e Seleção Precoce para crescimento de *Pinus taeda*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília. Vol. 37, n. 12, p. 1719-1726, dez., 2002.

PINTO JUNIOR, J. E.; STURION, J. A., RESENDE, M. D. V., RONZELLI JUNIOR, P. Avaliação Simultânea de Produtividade, Adaptabilidade e Estabilidade Genotípica de *Eucalyptus grandis* em Distintos Ambientes do Estado de São Paulo. **Boletim Pesquisa Florestal**. Colombo. N. 53, p. 79-108 jul./dez. 2006.

PIRES, I. E.; RESENDE, M. D. V.; SILVA, R. L.; RESENDE JR., M. F. R. **Genética Florestal**. Viçosa. P. 318, 2011.

RESENDE, M. D. V.; BERTOLUCCI, F. L. G. Maximization of genetic gain with restriction on effective population size and inbreeding in *Eucalyptus grandis*. In: CRCTHF – IUFRO CONFERENCE “Eucalypt Plantations: Improving Fibre and Quality”. **Proceedings**. IUFRO. P. 167-170, 1995.

RESENDE, M. D. V. Melhor Predição Linear Não Viciada (BLUP) de Valores Genéticos no Melhoramento de *Pinus*. **Boletim Pesquisa Florestal**. Colombo. N. 32/33, p. 3-22 jan./dez. 1996a.

RESENDE, M. D. V. Estimacão de Componentes de Variância e Predico de Valores Genéticos pelo Método de Máxima Verossimilhança Restrita (REML) e Melhor Predico Linear Não Viciada (BLUP). **Boletim Pesquisa Florestal**. Colombo. N. 32/33, p. 23-42 jan./dez. 1996b.

RESENDE, M. D. V. Genética Biométrica Vegetal. In.: **Anais do 14º. Encontro sobre Temas de Genética e Melhoramento**. Piracicaba. Volume 14. p. 20-46. 1997.

RESENDE, M.D.V. **Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes**. Brasília: Embrapa Informaco Tecnológica. P. 975, 2002.

RESENDE, M. D. V. **Métodos Estatísticos ótimos na Análise de Experimentos de Campo**. Colombo: Embrapa Florestas. P. 57, 2004.

RESENDE, M. D. V. **Selegen-Reml/Blup: Sistema Estatístico e Seleo Genética Computadorizada via Modelos Lineares Mistos**. Colombo: Embrapa Florestas. P.360, 2007.

VENCOVSKY, R. & BARRIGA, P. **Genética Biométrica no Fitomelhoramento**. Ribeirão Preto: Revista Brasileira de Genética. P. 496,1992.